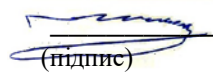


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ  
ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 С.А. Найда  
(підпис)

“01” червня 2020 р.

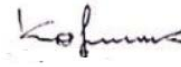
**Дипломна робота  
на здобуття степеня бакалавра**

з напрямку підготовки(спеціальності) 171 “Електроніка”  
на тему: Розробка повітряної камери для акустичних вимірювань.

Виконав студент IV курсу, групи ДГ-62  
Погорілий А.І

  
(підпис)

Керівник проф. каф. А та АЕ д.т.н. Коржик О.В.

  
(підпис)

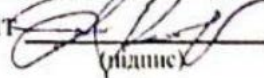
Консультант \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент Директор ДП КНДШ ГП к.т.н. Ковальчук К.В

  
(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент   
(підпис)

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) \_\_\_\_\_ електроніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

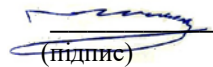
Кафедра \_\_\_\_\_ акустичних та мультимедійних систем \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(назва ОКР)

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ 6.050803 Акустотехніка \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

 С.А. Найда  
(підпис)

“01” червня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Погорілого Артура Ігоровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Розробка повітряної камери для акустичних вимірювань.

керівник роботи Коржик Олексій Володимирович д.т.н., проф.,  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25 » травня 2020 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: Камери мають забезпечувати проведення вимірювань, починаючи з 125 Гц, забезпечувати режим вільного поля.

4. Зміст пояснювальної записки: 1.Аналіз джерел по повітряним камерам, робота над метою завдання, розгляд основних задач; 2. Основні відомості для конструювання та розрахунку повітряних.3. Розрахунок ревербераційної та заглушеної камери.

5. Перелік графічного матеріалу Ілюстративний матеріал( презентація в Power Point)

6. Орієнтовний перелік публікацій:

<https://knowhow.pp.ua/worlds-quietest-room/>

<http://docs.cntd.ru/document/5200328>

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: Наука, 1974.- С.942.

2. Горелик Г.С. Колебания.- М.: Государственное издательство технико-теоретическое издательство, 1950.- С.551.

3. Колесников А.Е. Акустические измерения.- Л., 1983.-С. 53-56.

4. Ревербератор – статья из «Большой советской энциклопедии»;

5. Заборов В.И. Звукоизоляция в жилых и общественных зданиях / В.И. Заборов, Э.М. Лалаев, В.Н. Никольский М.:Стройиздат, 1979. -254с.

6. «ННГАСУ» издание газеты «Строитель» и приложения «Студенческий вестник»;


7. Бобылев, В.Н. О звукоизоляции однослойных ограждений в области частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля.

7. Дата видачі завдання: 15 грудня 2020 року

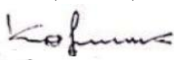
### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел конструювання повітряних камер, основні проблеми та типи задач	03.05.2020	
2	Основні відомості для конструювання та розрахунку повітряних камер.	21.05.2020	
3	Розрахунок ревербераційної та заглушеної камери.	28.05.2020	
4	Розробка пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	07.06.2020	

Студент

  
(підпис)

Керівник роботи

  
(підпис)

Погорілий А.І.  
(ініціали, прізвище)

О.В. Коржик  
(ініціали, прізвище)

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти студента  
кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем факультету  
електроніки

Національного технічного університету України «Київський політехнічний  
інститут імені І.Сікорського»

**Погорілого Артура Ігоровича**

**на тему: «Розробка повітряної камери для акустичних вимірювань»**

Київ – 2020

## РЕФЕРАТ

### **Розробка повітряної камери для акустичних вимірювань** // Дипломна

робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». Погорілого А.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, група ДГ-62. – К.:НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2020, с. – 74, рис. – 21, табл. – 12.

У данній роботі було розглянуто можливість конструювання повітряних камер. А саме – ревербераційної, та заглушеної(безехової). Було проведено дослідження по методам розрахунку камер. Обрано метод, по якому знаходяться оптимальні параметри для конструювання камер. Головна мета роботи – розрахунок камер з мінімальними шумами та перешкодами в середині та ззовні камери, досліджені способи боротьби з ними, які є дуже важливим параметром при розробці акустичних камер.

На сьогоднішній день, акустика широко розвивається, тому є велика потреба у пошуках нових способів а також методів вимірювання, або у модернізації вже відомих методів, тому дана тема є актуальною.

Ключові слова: акустика, акустичні вимірювання, акустичні камери, ревербераційні камери, безехові камери, заглушені камери, точний та технічний метод, вільне поле, звук, октавні частоти.

## **ABSTRACT**

**Development of an air chamber for acoustic measurements** // Thesis for a bachelor's degree. Pohorilyi A.I. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky". Faculty of Electronics, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, DG-62 Group. - Kyiv: NTUU "KPI named after I. Sikorsky", 2020, p. - 74, fig. – 21, table. - 12.

In this paper, the possibility of designing air chambers was considered. Namely - reverberation, and muted (anechoic). A study was conducted on the methods of calculating the cameras. The method by which the optimal parameters for designing cameras are found is chosen. The main purpose of the work - the calculation of cameras with minimal noise and interference in the middle and outside of the camera, explored ways to deal with them, which are a very important parameter in the development of acoustic cameras.

Today, acoustics is widely developed, so there is a great need to find new ways and methods of measurement, or to upgrade already known methods, so this topic is relevant

Key words: acoustics, acoustic measurements, acoustic chambers, reverberation chambers, anechoic chambers, muffled chambers, exact and technical method, free field, sound, octave frequencies, received and reflected signals.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДЖЕРЕЛ ПРО ПОВІТРЯНІ КАМЕРИ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ПІД ЧАС КОНСТРУЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ КАМЕР.....	11
1.1 Мета акустичних вимірювань.....	11
1.2 Дослідження в акустичних камерах і їх застосування.....	13
1.3 Сфери застосування повітряних акустичних камер.....	21
1.4 Розміри,обладнання та вимоги до ревербераційних камер.....	24
1.5 Розміри,обладнання та вимоги до заглушених камер.....	27
Висновки по розділу.....	30
РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА УМОВИ КОНСТРУЮВАННЯ РЕВЕРБЕРАЦІЙНИХ ТА ЗАГЛУШЕНИХ КАМЕР .....	31
2.1 Вихідні дані для розрахунку ревербераційної камери.....	31
2.2 Вихідні дані для розрахунку заглушеної камери.....	33
2.3 Акустичний розрахунок ревербераційних камер для вимірювань точним методом .....	36
2.4. Акустичний розрахунок заглушених камер.....	38
2.5 Розрахунок необхідної звукоізоляції і вибір огорожувальних конструкцій камери.....	47
2.6 Розрахунок приміщень та ревербераційної камери технічним методом .....	49
2.7 Конструкція ревербераційної камер.....	50
2.8 Конструкція заглушеної камери.....	53
Висновки по розділу.....	59



РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕВЕРБЕРАЦІЙНОЇ ТА ЗАГЛУШЕНОЇ КАМЕРИ, АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	59
3.1 Розрахунок ревербераційної камери. Вихідні дані.....	59
3.2. Послідовність розрахунку ревербераційної камери.....	60
3.3 Розрахунок безехової камери. Вихідні дані.....	62
3.4 Послідовність розрахунку безехової камери.....	63
Висновки до розділу.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	71

## ВСТУП

Акустика – є дуже поширеним та вже «звичайним» поняттям у науці та повсякденному житті звичайних людей. За все існування «акустики» як науки про звук, було розроблено багато методів дослідження акустичних хвиль, а саме проведення дослідів у повітряних камерах. Але ці методи є зі своїми недоліками та зауваженнями. Тому «акустика», як розділ фізики постійно розвивається. Саме із-за цих недоліків методи дослідження потребують модернізації. Тому було вирішено обрати саме цю тему дипломної роботи, дослідити методи розрахунку в повітряних камерах. Обрано метод який дозволяю винайти самі оптимальні параметри повітряних камер для дослідження акустичних хвиль, включаючи найголовніше мету розрахунків – зменшення завад, перешкод, а також шумів вимірювань в камерах.

В першому розділі розглянуто види повітряних камер, систем, сфери застосування та основні напрямлення акустики як цілому, проведено детальний аналіз необхідності конструювання акустичних камер, наведені приклади досліджень різної апаратури, а також особливості цих камер.

В другому розділі розглянуто параметри необхідні умови для конструювання повітряних камер, що є важливим пунктом під час конструювання ревербераційної, або безехової камери. Було проведено аналіз методів розрахунку для самих оптимальних показників в камері та ззовні.

В третьому та кінцевому розділі представлено сам розрахунок необхідних характеристик заглушеної та ревербераційної камери, при яких головною метою було забезпечити найкраще звукопоглинання у випадку заглушеної камери, а також звуковідбиття у ревербераційній камері.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДЖЕРЕЛ ПРО ПОВІТРЯНІ КАМЕРИ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ПІД ЧАС КОНСТРУЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ КАМЕР.

## 1.1 Мета акустичних вимірювань

Акустичні вимірювання – дуже важлива «гілка» в усіх галузях народного господарства, медицини, охорони довкілля, науці, оборонній сфері та гірничовидобувній. Особливістю акустичних досліджень є різноматні їх використання, яке охоплює газові, водні та тверді середовища. На сьогодні, дуже великого поширення набули такі галузі як звукозапис, зв'язок, архітектурна акустика, контроль шумових характеристик літаків, машин та приладів та багато інших. Неможливо уявити людське життя без звичайного гучномовця, який відіграє значну роль в акустиці. необхідність у вивчення властивостей звуку для задоволення потреб різного характеру, спричинило розвиток різноманітних акустичних методів вимірювань, що в свою чергу викликало потребу у акустичних камерах, для точного дослідження характеристик звукового сигналу. Акустичні камери по конструкції і методикою випробувань діляться на три основні категорії:

- Конструювання гідроакустичних басейнів.
- Розробка полу-/безехових камер.
- Конструювання ревербераційних камер.

Ревербераційні або гучні камери призначені для створення дифузного звукового поля. Це також приміщення обладнані засобами акустичної захисту від зовнішніх шумів і вібрацій, однак внутрішні їх поверхні робляться повністю відображають падаючі на них звукові промені. Дифузне звукове поле характеризується рівною щільністю енергії в різних точках простору, що дорівнює ймовірності напрямки звукових променів (потоків звукової енергії) потрапляють в точку прийому, і довільним значенням фаз цих променів. Для вирішення цього завдання розміри камери (довжина, висота, ширина) не

повинні бути кратними між собою. Випромінювачі звуку зазвичай встановлюють в кутах приміщень.

Безехові камери призначені для вивчення звуків і радіохвиль. Тому існує два види безехова камер:

Акустичні безехова камера - приміщення, в яких проводять вивчення звуків;  
Радіочастотні безехова камери - приміщення, в яких вивчають радіохвилі. Слід зазначити, що ці види камер дуже відрізняються один від одного: в першій камері всі поверхні в приміщенні будуть поглинати звуки, а в другій - радіохвилі. Сьогодні таких камер в світі дуже багато. Вони є на всіх великих підприємствах. В компанії, що займається виробництвом мобільних телефонів, в безеховій камері тестують звукові якості пристроїв, а так само випромінення радіохвиль.

На підприємствах по виробленню автомобілів, в таких камерах регулюють силу звукового сигналу авто, а так же звукові ефекти натискання різних функціональних кнопок авто. Безехові камери є в навчальних закладах, особливо це стосується тих вузів, які готують космонавтів, а так само тих, одним з головних напрямків яких є вивчення звуків.

Модель безехової камери можна відтворити вдома. Для цього потрібно всі поверхні приміщення обклеїти порожніми лотками з-під яєць. Для більшого ефекту в 2-3 шари. Ідеальні умови- проводити це в порожньому приміщенні. У радянські часи молодь так звукоізолювала приміщення, де слухала заборонену музику.

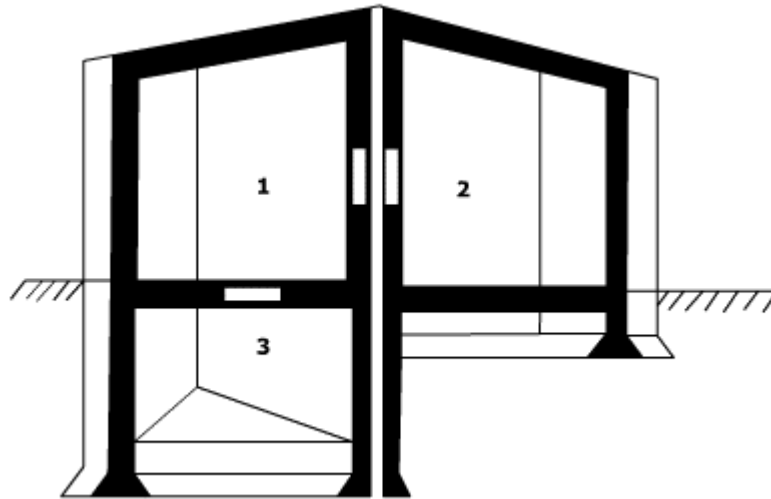


Рис. 1.1 Конструкція типового комплексу ревербераційних камер

1 - ревербераційна камера високого рівня;

2 - камера низького рівня для вимірювання звукоізоляції перегородок від повітряного шуму;

3 - камера низького рівня для вимірювання звукоізоляції перегородок від ударного шуму.

## 1.2 Дослідження в акустичних камерах та їх застосування.

Акустичні камери є точним інструментом для проведення різних видів випробувань і відповідають всім вимогам стандартів. Конструкція акустичних камер по суті являє собою замкнуте приміщення, яке здатне забезпечити середу, вільну від різних видів шумів або перешкод. Розміри камери визначаються виходячи з поставленого завдання, вимірюваних характеристик в камері і габаритів випробуваного виробу.

У безехових камерах основний принцип - це поглинання того чи іншого виду коливань, то в ревербераційних камерах, навпаки, забезпечується жорстке середовище, в якій повністю відсутнє поглинання і стоячі хвилі, які, в свою чергу, можуть знизити рівень звукового впливу. Ревербераційна акустична камера - це приміщення для акустичних вимірювань, в якій звук по можливості повністю відбивається від огорожувальних поверхонь і в кожній точці, якою

звуковий тиск в середньому однаковий, а прихід звукових хвиль з різних напрямків рівновірогідний. Для збільшення відображення внутрішня поверхня ревербераційної камери облицьовують матеріалами з мінімальним звукопоглинанням.

Диффузність звукового поля досягається неправильністю форми ревербераційної камери, створенням нерівностей на стінах, а також розвішуванням у випадковому порядку відображаючих елементів. Зазвичай ревербераційні камери ізолюють від зовнішніх шумів і вібрацій. У такій камері проводять виміри коефіцієнта звукопоглинання матеріалів, вимірювання потужності випромінювання гучномовців, акустичні випромінювання машин та інших джерел шуму, суб'єктивні дослідження слуху. Дві суміжні ревербераційні камери із загальним отвором в одній зі стін застосовуються для вивчення звукоізолюючих властивостей різних матеріалів і конструкцій в архітектурній і будівельній акустиці. Якість ревербераційної камери характеризується часом реверберації і рівномірністю звукового поля.

Перед початком проектування ревербераційної акустичної камери проводять досить широкий комплекс підготовчих робіт. Він включає в себе збір і аналіз інформації про види акустичних досліджень, які планують проводити в створюваній камері, місцезнаходження камери і особливості будівельних конструкцій які контактують з камерою, оцінку можливості розташування обладнання та прокладки необхідних ліній (вентиляція, освітлення), тип звукопоглинального покриття, тип камери (матеріал, конструкція, звукопоглинальні характеристики). Існують стандарти, які встановлюють вимоги до лабораторних випробувальних установок і обладнання для вимірювань звукоізоляції будівель:

- компоненти і матеріали;
- будівельні конструкції;
- елементи обладнання будівель (малі технічні елементи);
- системи поліпшення звукоізоляції.

Такі стандарти застосовуються до лабораторних випробувальних установок, в яких вжито заходів для ослаблення побічної звукопередачі і приміщення джерела, конструктивно ізольованого від приймального приміщення.

Ревербераційні камери широко застосовують дуже багато крупних компаній по всьому світу. В приклад можна привести компанію “IAC Acoustics” та їх «Інженерний центр передових технологій FG Wilson» в якому, в свою чергу, проводять акустичні досліді по усуненню шумового забруднення, такі компанії як MICROSOFT, AMD, RANK XEROX. Цей центр має 2 камери:

- Полубезехова камера на основі низькочастотних клинів, зі стандартами ISO 3745 та частотою зрізу 25 Гц.



Рис 1.2 «Інженерний центр передових технологій “FG WILSON”» з низькочастотними клинами.

- Бетонна ревербераційна камера з асиметричною стінкою об’ємом 275 кубічних метрів, яка задовольняє потребам ISO 3741, з частотою зрізу 100 Гц.

Російська компанія «EL-TECH» також є показником розвитку акустичних вимірювальних систем. В їхніх камерах проводяться багато акустичних дослідів, зокрема в ревербераційній камері також.

До таких вимірів відносяться:

- віброакустичні випробування виробів;
- вимірювання звукової потужності випромінювання гучномовців;
- вимірювання спектра шуму різних джерел;
- вимір коефіцієнта звукопоглинання матеріалів;
- проведення градування вимірювальних мікрофонів і шумомірів.

Диффузність поля в камері оцінюється реверберацією. Стіни АРК (Акустичної ревербераційної камери) виконуються із залізобетону, облицьованого зсередини покриттям, наприклад, мармуровими плитами, що забезпечує високе відображення звуку. Для забезпечення диффузности звукового поля всередині камери встановлюються відбивачі у вигляді пластин, розміри яких порівняються з довжиною досліджуваних звукових хвиль. Для проведення віброакустичних випробувань АРК обладнуються системою генерації шуму з акустичними рупорами і глушником. Розміри АРК визначаються нижчою частотою досліджуваного звуку, для частот менше 100 Гц обсяг АРК повинен бути більше 200 кубічних метрів.

Також можна додати лабораторію акустики на кафедрі архітектури в «ННГАСУ» Російської федерації. Лабораторія акустики була створена на кафедрі архітектури ГІСІ в 1971 році доктором технічних наук, професором Седовим Михайлом Семеновичем. З 2000 року Лабораторію очолює член-кореспондент РААСН, професор Бобильов Володимир Миколайович. В результаті багаторічної діяльності співробітниками Лабораторії виконані сотні дослідницьких і виробничих робіт, створені інженерні методи розрахунку звукоізоляції різних видів зовнішніх і внутрішніх огорожувальних



конструкцій будівель і споруд, внесений значний внесок у розвиток архітектурно-акустичного проектування в Приволзькому регіоні РФ. Лабораторія акустики ННГАСУ у своєму розпорядженні має унікальний вимірювальний комплекс з трьох ревербераційних камер, заглушеної камери і апаратних приміщень. Ревербераційні камери призначені для вимірювання звукоізоляції огорожувальних конструкцій і їх фрагментів від повітряного і ударного шуму (стіни, перегородки, перекриття, вікна, двері та ін.); для визначення коефіцієнтів звукопоглинання будівельних матеріалів; для вимірювань шумових характеристик машин і механізмів. Одним прикладом роботи цієї лабораторії та її спеціалістів є акустичне проектування великого залу «ДРАМАТИЧНОГО ТЕАТРУ» в м. Саратові, РФ.



Рис 1.3 Зал «ДРАМАТИЧНОГО ТЕАТРУ» в м. Саратові, РФ.

Параметри залу:

- Місткість: 500 глядачів;
- Обсяг 3 100 м<sup>3</sup>;
- Обсяг на людину: 6,2 м<sup>3</sup> / чол
- Довжина від завіси до задньої стіни: 24,5 м
- Ширина в центральній частині: 20,7 м

- Висота в центральній частині: 9,7 м;
- Пропорції залу: 1: 1,2 (ширина: довжина); 1: 2,1 (висота: ширина)
- Оптимальний час реверберації на частоті 500 Гц: 1,22 с

В процесі проектування драматичного театру в м. Саров, Нижегородської області виникла необхідність в акустичному проектуванні залу багатоцільового призначення на 500 місць, призначеного для перегляду драматичних постановок і музичних вистав та концертів. Співробітниками Лабораторії акустики ННГАСУ було виконано акустичний розрахунок даного залу і проведено проектування звукопоглинальних, звуковідбивальних і розсіюючих конструкцій. Серед особливостей залу можна відзначити підвісну акустична стеля криволінійної форми, яка виконана з дерева. Складна геометрична форма стелі була спеціально розрахована з метою забезпечення глядачів всіх рядів першими малозапізнюючими відбиттями зі сцени та з оркестрової ями. Після реалізації проекту акустичного благоустрою залу були проведені вимірювання часу реверберації  $RT_{60}$ . Вимірювання показали, що значення фактичного часу реверберації в розрахунковому діапазоні частот відповідають оптимальним значенням.

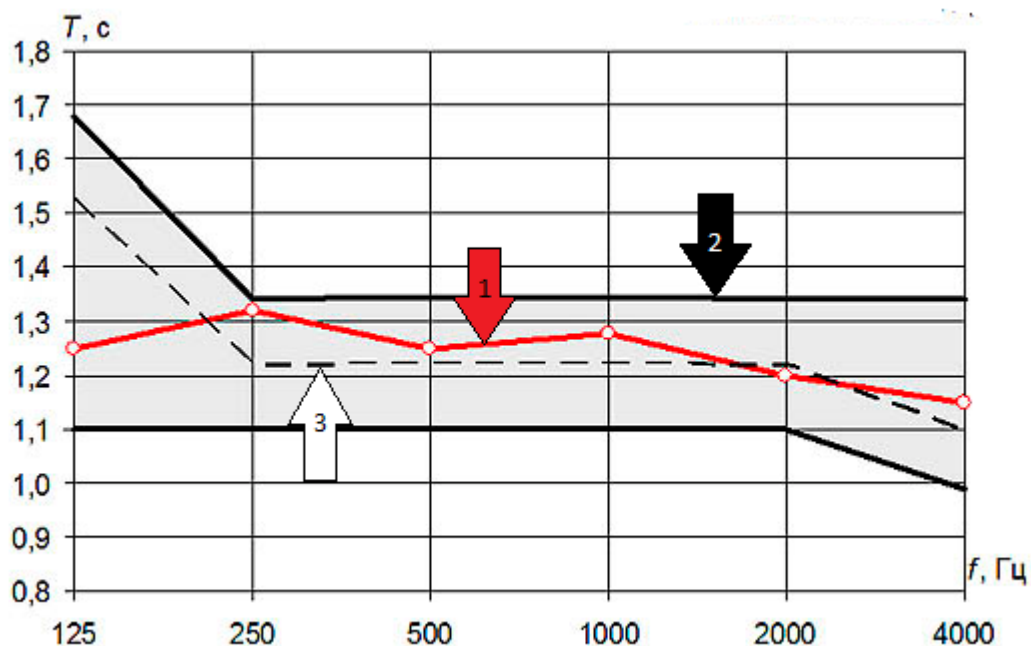


Рис. 1.4. Результати натуральних вимірів часу реверберації залу РТ60.

- 1 – Виміряні значення часу реверберації після акустичної обробки з врахуванням перерахунку на 70% заповненості зали.
- 2 – Оптимальні значення часу реверберації .
- 3 – Границі оптимальних значень часу реверберації.

Щодо безехових камер, рівень фонового шуму в безеховій камері близький до нижньої межі, визначеному теоретиками, тихіше тільки вакуум - абсолютна відсутність звуку. Перебування в цій кімнаті супроводжується неймовірними відчуттями, люди фізично споглядають тишу. У нормальних умовах барабанна перетинка постійно відчуває вібрації, викликані звуковим тиском, а в цьому місці пішли від джерела звукові хвилі ніколи не повертаються назад.

Таким чином, можна підсумувати, що дослідження акустики в безехових та ревербераційних камерах, так і загалом в акустичних камерах будь якого типу, є дуже важливими у розвитку різних сфер науки як в цілому.

В приклад розглянемо одну з найзаглушених камер у світі – «Безехова камера Microsoft».

В цьому місці стукіт власного серця і навіть тиша стають гучними. Кожен рух супроводжується пронизливим скреготом кісток і суглобів. В остаточному підсумку людина втрачає орієнтацію в просторі, так як відсутність звуку збиває в недорозуміння вестибулярну сенсорну систему.

Всі звуки зовнішнього світу залишаються поза стінами безеховій камери в штаб-квартирі компанії Microsoft в Редмонді, штат Вашингтон. Ця кімната - саме тихе місце на планеті.

Екстремальної тиші дозволяє домогтися структура приміщення, яка ізолює кімнату не тільки від будівлі, а й від усього зовнішнього шуму. Конструкція безехової камери нагадує цибулину – вона «захована» від звуків за шістьма шарами бетону і сталі. Ця кімната ніби зависає в просторі: її оточують демпфовані механізми, які гасять будь-які вібрації.

Усередині все покрито рельєфом фігур з пористого скловолокна: ці фігури(клини) поглинають звукові хвилі, не дозволяючи їм поширюватися по кімнаті. Підлога - сітка з звукопоглинального матеріалу.

На розробку безехової камери і її запуску пішло приблизно півтора року. Кімнату побудували в самому тихому місці, в кампусу Microsoft на мінус шостому поверсі. Щоб домогтися додаткового зниження рівня сторонніх звуків, навколо складовою структури камери звели чохол з бетону товщиною понад 30 см. Цій безеховій камері приділили увагу кожній дрібниці, яка пов'язувала її з зовнішнім світом і могла пропускати звукові хвилі всередину кімнати: вони ізолювали все, включаючи систему протипожежної безпеки і повітропровід. Результатом їхніх праць став рівень шуму, недоступний для людського слуху мінус 20.3 дБА. Щоб зрозуміти які це високі показники якості, гучність фонового шуму в тихій кімнаті - спокійного дихання, складає близько 10 дБА.

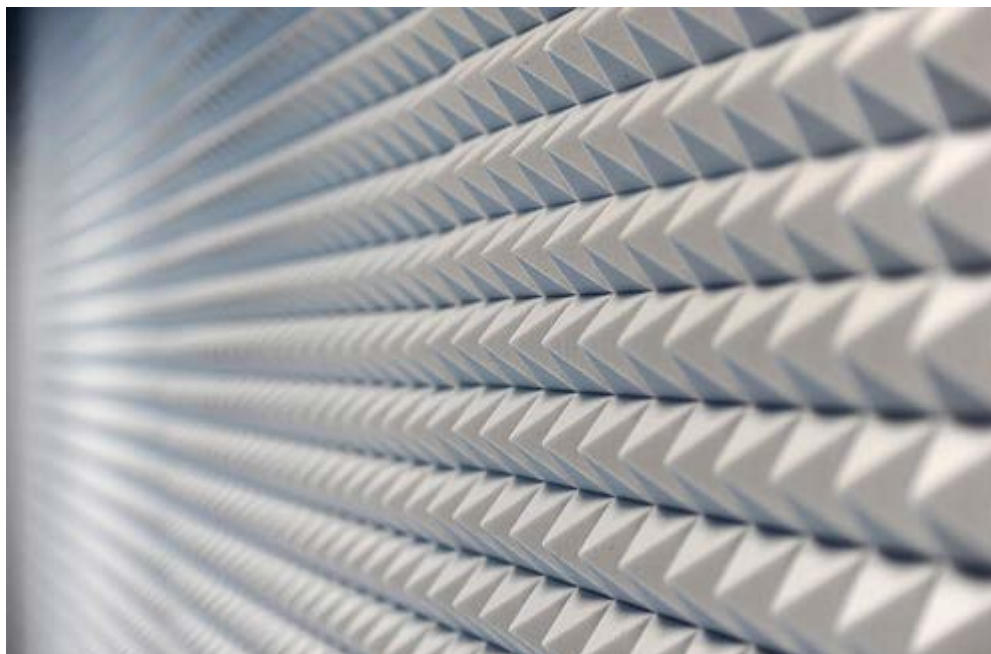


Рис 1.5 «Звукопоглинаючі клини в безеховій камері»

Безехова камера Microsoft займає місце в «Книзі рекордів Гіннеса», як тихе приміщення в світі. На жаль, вона не доступна для широкої публіки, проте в світі існують подібні камери, в яких кожен бажаючий може послухати тишу. Наприклад, безехова камера в Лабораторії Орфілд в Міннеаполісі, штат Міннесота, яка носила звання самого тихого у світі приміщення до 2015 року. Вона була побудована Стівом Орфілдом в 1990 році, на базі колишньої студії звукозапису Sound80.

Відчуття людини всередині кімнати частково залежать від того, в яких умовах людина перебувала за межами камери: при переході з дуже гучною обстановки в тишу адаптація буває болючою. Також на сприйняття тиші впливає гострота слуху: як правило, люди з більш слабким слухом, наприклад, люди похилого, не можуть в повній мірі відчувати дзвінку тишу камери. Для повноти вражень гостям Лабораторії Орфілд також радять «послухати» тишу в повній темряві. Намагаючись пройти по приміщенню в таких умовах, люди нерідко втрачають рівновагу і орієнтацію в просторі.

Жодного рекорду по тривалості перебування в самому тихому приміщенні в світі зареєстровано не було. Більшість відвідувачів безехової камери проводять всередині кілька хвилин, деякі прагнуть залишити камеру через пару секунд і лише маленька частина людей витримують до 30 хвилин тиші. Сам Орфілд в якості експерименту провів в камері 45 хвилин, слухаючи роботу штучного клапана в своєму серці, а співробітникам Microsoft доводилося проводити в абсолютній тиші близько 55 хвилин.

### **1.3 Сфери застосування повітряних акустичних камер.**

Акустичні камери використовуються для дослідження міцності і втомних характеристик авіаційних-космічних конструкцій під впливом акустичних навантажень в широкому діапазоні частот регульованою спектральною щільністю. Для прикладу візьмемо акустичну ревербераційну камеру РК-1500.

Обсяг і розміри експериментальної камери дозволяють проводити випробування габаритних конструкцій і повномасштабних агрегатів.

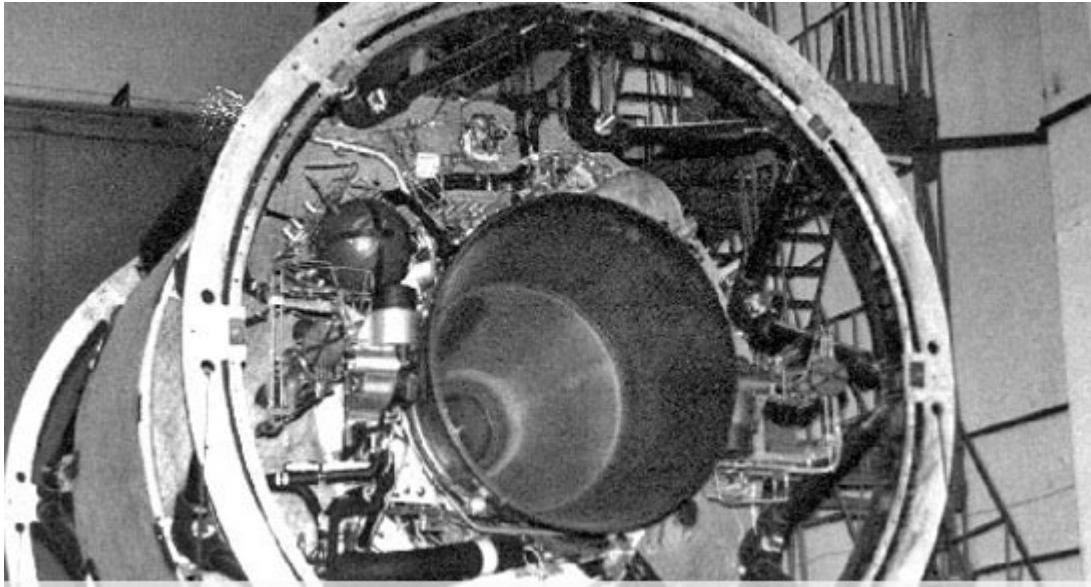


Рис. 1.6 Акустична камера «РК-1500»

Поле звукових тисків створюється за допомогою системи генерації звуку, пов'язаної з експериментальною камерою через рупора. Забезпечено можливість місцевого опромінення окремих зон конструкції і випробування з підвищенням тиску в окремих замкнутих обсягах конструкції. Є спеціальний підготовчий зал (препараторська), оснащений підйомними кранами для монтажних операцій, установки датчиків, дефектоскопії та інших операцій.

Реввербераційних камера обладнана автоматизованим вимірювально-обчислювальним і керуючим комплексом для здійснення функціонально - технологічного контролю за процесом експерименту:

- Максимальний рівень звукового тиску до 164дБ
- Обсяг випробувального боксу 1504 м<sup>3</sup>
- Розміри випробувального боксу 14.6 x 9.2 x 11.2 м
- Робоча смуга частот 45 ... 10000 Гц
- Потужність генераторів звуку до 1200 кВт

Інформаційно-вимірювальна система:

- Кількість каналів опитування даних 256

- Швидкість опитування даних до 200 кГц / канал

Автоматична система управління:

- Управління спектральною щільністю звукового тиску
- Точність відтворення навантажень  $\pm 3$  дБ
- Динамічний діапазон управління  $\pm 20$  дБ

Додаткові системи:

- Місцева система випромінювання (до 4 зон конструкції) 4 канали
- Система підвищення тиску (наддуву) в окремих ємностях

досліджуваних конструкцій

У ревербераційній камері проводяться наступні типи досліджень:

- міцності і втомні випробування ЛА і функціонування механічних систем в інтенсивному акустичному полі;
- випробування електронних і механічних систем і їх функціонування;
- дослідження методів і засобів звукоізоляції і впливу шуму на людину і природне середовище.

Акустична ревербераційна камера забезпечує:

- випробування великомасштабних зразків (з лінійним розміром до 11 м) під дією акустичних навантажень в широкій смузі частот;
- автоматичне керування спектральною щільністю звуку в темпі з експериментом;
- можливість місцевого опромінення окремих зон конструкції; автоматизоване вимірювання і обробка даних за допомогою багатоканальної цифрової інформаційно-вимірювальної системи в процесі експерименту.

Установка РК-1500 відноситься до числа унікальних в світі. При зазначеному обсязі робочого боксу, акустична потужність і, відповідно, рівень звукового впливу в 3-4 рази перевищують аналогічні параметри установок Європи та США подібного класу. Загалом в цій ревербераційній камері

проводять випробування великомасштабних конструктивних елементів і допоміжного обладнання повітряно-космічних літальних апаратів.

Широкого використання акустичні ревербераційні камери набули у автомобільній промисловості. До цього типу камер можна віднести камеру «R-Cabin». «R-Cabin» - це невелика ревербераційна камера, яка може застосовуватися для вимірювання коефіцієнта поглинання звуку матеріалів в автомобільній промисловості. Камера дає можливість виміряти характеристики поглинання звуку невеликих і середніх зразків, таких як автомобільні сидіння, стельові панелі, оббивка і т. д. Розмір тестованого зразка може досягати трьох квадратних метрів, а частотний діапазон: від 400 до 10000 Гц. Камеру застосовують у розробці та оптимізації внутрішнього оздоблення автомобілів; випробування і вимірювання коефіцієнтів поглинання звуку для внутрішніх елементів автомобіля, контроль якості тестованих елементів, а також дослідження нових матеріалів і нових елементів.

Загалом ревербераційні камери застосовують для вимірювання коефіцієнта звукопоглинання акустичних матеріалів, що застосовуються для стін або стель, а також еквівалентної площі звукопоглинання об'єктів, меблів, групи людей або просторових звукопоглиначів.

Результати вимірювань можуть бути використані для порівняння акустичних характеристик матеріалів, розробки методів розрахунку і проектування акустики залів і захисту приміщень від шуму.

#### **1.4. Розміри, обладнання та вимоги до ревербераційних камер.**

Щоб акустична ревербераційна камера виконувала своє призначення, необхідно при її спорудженні врахувати ряд важливих факторів і умов:

- методика проведення і тривалість часу запланованих акустичних випробувань;



- рівень придушення шуму;
- діапазон використовуваних частот;
- додаткова віброізоляція;
- внутрішній об'єм приміщення і його величина щодо випробуваного об'єкта;
- наявність системи вентиляції, яка працює не виробляючи шуму;
- додаткові можливості регулювання характеристики ізольованого простору (тиск повітря, вологість).

Вимірювання проводять в третьоктавних смугах частот з наступними «середньгеометричними» частотами, в Гц представлені у табл. 1.1.

100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000	1250
1600	2000	2500	3150	4000	5000

Табл. 1.1 «Середньгеометричні частоти»

По світовим стандартам обсяги ревербераційній камери повинні бути не менше 150 кубічних метрів (ISO 354: 2003 року). Для того, щоб форма ревербераційної камери була правильною, повинне виконуватися твердження:

$$l_{max} < 1,9V^{1/3}; (1.1)$$

Де  $l_{max}$  - довжина найдовшою прямої лінії, яка знаходиться в межах кордонів камери (наприклад, в прямокутній камері цією лінією є найбільша діагональ), в метрах.

$V$  – об'єм камери, м<sup>3</sup>;

Для отримання рівномірного розподілу власних частот камери, особливо в низькочастотних смугах, ставлення двох будь-яких розмірів камери повинно бути більше 1,0 і менше 2,0.

Хоча поверхні камери намагаються робити відбиваючими (бетонують, іноді обшивають металевими листами), спостерігається певне поглинання падаючих на них звукових сигналів. Для правильної роботи, ревербераційній камері необхідно, щоб час стандартної реверберації(час спадання інтенсивності звуку після виключення джерела в 10<sup>6</sup> разів - на 60 дБ), що характеризує поглинання поверхонь, на різних частотах було не менше таких значень:

f, Гц.	125	250	500	1000	2000	4000
T, с.	5	5	5	4.5	3.5	2

Табл. 1.2 «Залежність часу стандартної реверберації від частоти».

Ревербераційні камери також оснащуються координатними пристроями. Спадаюче звукове поле в камері повинно бути в достатній мірі дифузним. Для забезпечення задовільного ступеня дифузності звукового поля незалежно від форми камери застосовують стаціонарні або підвішені розсіювачі.

Еквівалентна площа звукопоглинання камери без досліджуваного зразка, обчислена за формулою 1.2. і визначена в третьоктавних смугах частот, не повинна перевищувати значень, вказаних в таблиці 1.3:

$$A_1 = \frac{55,3V}{c_1 T_1} - 4 V m_1, (1.2)$$

$V$  – об'єм камери, м<sup>3</sup>;

$c_1$  – швидкість поширення звуку в повітрі при температурі  $t$ , в камері без зразка. м/с;

$T_1$  – час реверберації в камері без зразка, с;

$m_1$  – постійна затухання звукової енергії під час вимірювання в камері без зразка, м<sup>-1</sup>;

Якщо об'єм камери відрізняється від 200 м<sup>3</sup>, то значення, які приведені у табл. 1.3, потрібно домножити на коефіцієнт  $(V/200\text{м}^3)^{2/3}$ .

Частота, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Еквівалентна Площа звукопоглинання, м <sup>2</sup>	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Частота, Гц	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Еквівалентна Площа звукопоглинання, м <sup>2</sup>	6.5	7.0	7.5	8.0	9.5	10.5	12.0	13.0	14.0

Табл. 1.3 «Залежність часу стандартної реверберації від еквівалентної площі звукопоглинання».

## 1.5. Розміри, обладнання та вимоги до заглушених камер.

Вимірювання рівнів звукового тиску в безеховій камері(заглушеній) повинні проводитися в октавних смугах частот з середньо-геометричними частотами починаючи з 125 до 8000 Гц;

В третьоктавних смугах з середньоеометричними частотами починаючи зі ста Герц до десятитисяч Герц, а також в вузьких смугах частот, включаючи вимірювання в рівнях звуку. Можливе вимірювання на більш низьких частотах, а також більш високих.

Об'єм безехової камери повинен бути не менше ніж в 200 разів більше обсягу випробовується джерела шуму. Проводять експерименти в заглушеній камері зазвичай точним методом.

Коефіцієнт звукопоглинання покриття безехової камери повинен бути більше 0,95 в діапазоні частот 125 Гц та вище, а також не менше 0,90 в діапазоні частот нижче 125 Гц.

Коефіцієнт звукопоглинання жорсткої підлоги в таких камерах зі звуковідбивальних підлогою повинен бути не більше 0,06.

Безехові камери задовольняють вимогам в тих зонах простору камери, де різниця між теоретичним спадом рівнів звукового тиску зі збільшенням відстані від джерела і вимірним фактичним спадом рівнів в тих же точках в діапазоні частот вимірювання не перевищує величин, наведених у таблиці 1.4. Перевірка звукового поля в заглушених камерах проводиться відповідно до Табл. 1.4.

Тип камери	Середньоеометричні частоти третьоктавних полос, Гц.	Допустими значення спаду рівнів, дБ
Заглушена камера з жосткою підлогою	500 1000-5000	±2.5 ±2.0

Заглушена камера з поглинаючою підлогою	5000	$\pm 3.0$
	500	$\pm 1.5$
	1000-5000	$\pm 1.0$
	5000	$\pm 1.5$

Табл. 1.4 «Перевірка звукового поля в заглушених камерах»

Перешкоди, наприклад від аеродинамічних потоків поблизу мікрофона, від вібрації, що передаються на вимірювальні прилади від впливу електричних або магнітних полів або інших джерел звуку, повинен вимірюватися в тих же величинах і вимірювальних точках, що і звук випробуємого джерела.

Допускається не враховувати перешкоди, якщо вони на 15 і більше дБ нижче рівня звуку, виміряного при включеному джерелі.

Число точок вимірювання шумових перешкод може бути зменшено, якщо еквівалентний рівень перешкод розподілених в камері рівномірно.

Якщо різниця між рівнем виміряного шуму і еквівалентним рівнем перешкод  $\Delta L$  постійна і менш ніж 6 дБ, або присутні коливання в часі і менше ніж 15 дБ, то результат вимірювання не може бути оцінений. Якщо  $\Delta L \geq 6$  дБ, потрібно розрахувати  $\Delta$ , значення приведені в табл. 1.4:

$\Delta L$ , дБ	$\Delta$ , дБ
6	1.3
7	1
8	0.8
9	0.6
10	0.4
11	0.3
12	0.3
13	0.2
14	0.2

Табл 1.5. Значення для розрахунку  $\Delta$ .

Випробуване джерело слід встановити на підлозі всередині камери зі звукопоглинальною підлогою. Точки вимірювання слід розташовувати на вимірювальній поверхні.

Вимірювальна поверхня - умовна поверхню, яка оточує машину з усіх боків (в камері зі звукопоглинальним підлогою). Як вимірювальну поверхню слід приймати сферу в камерах зі звукопоглинальним підлогою.

Паралелепіпед, огинаючий джерело акустичних хвиль, встановлений на жорсткій підлозі - умовна поверхня. Розміри паралелепіпеда повинні приблизно

відповідати габаритним розмірам джерела шуму. При визначенні, їх не слід враховувати частині джерела, які істотно не випромінюють звукової енергії (важелі, кінці валів і т.д.), але слід враховувати траєкторії рухомими при роботі частинами джерела звуку.

Радіус сферичної вимірювальної поверхні повинен бути більше або дорівнює подвоєному максимальному розміру огинаючого паралелепіпеда не менше 1 м. ( $R \geq 2l_{max}$ )

Розміри вимірювальної поверхні повинні бути такі, щоб точки вимірювання були розташовані в зоні вільного звукового поля камери, де задовольняються умови табл. 1.4.

Площа сферичної вимірювальної поверхні обчислюється за формулою:

$$S = 4\pi R^2; (1.3)$$

При вимірах на сферичній вимірювальної поверхні слід використовувати 20 точок вимірювання, розташованих симетрично на двох півсферах. Координати точок вимірювання наведені в табл. 1.6.

Точки вимірювання	$\frac{x}{R}$	$\frac{y}{R}$	$\frac{z}{R}$
1	0	0,93	0,36
2	0	0,93	-0,36
3	0,58	0,58	0,58
4	0,58	0,58	-0,58
5	0,93	0,36	0
6	0,36	0	0,93
7	0,36	0	-0,93
8	0,93	-0,36	0
9	0,58	-0,58	0,58
10	0,58	-0,58	-0,58
11	0	-0,93	0,36
12	0	-0,93	-0,36
13	-0,58	-0,58	0,58
14	-0,58	-0,58	-0,58
15	0,93	-0,36	0
16	-0,36	0	0,93
17	-0,36	0	-0,93
18	-0,93	0,36	0
19	-0,58	0,58	0,58
20	-0,58	0,58	-0,58

Табл. 1.6. «Координати точок вимірювання»

Для перевірки звукового поля в заглушених камерах слід застосовувати:

- Гучномовець діаметром 25 см, вмонтований в заглушений ящик на частотах нижче 400 Гц;
- два з'єднаних один з одним гучномовця  $D = 10$  см, що працюють як пульсуюча сфера, на частотах починаючи з 400 до 2000 Гц;
- гучномовець, діафрагма якого з'єднана з трубкою 1.5 см діаметром, через яку відбувається випромінювання звуку, на частотах починаючи з 2000 до 10000 Гц;
- Діаметр мікрофона 13 мм.
- підсилювач, генератор чистих тонів або генератор білого шуму (якщо відчують джерела шуму випромінюють широкосмуговий шум).
- Гучномовці встановлюють в центрі звуковідбиваючої підлоги заглушеній камери, або закріплюють в центрі простору в повністю заглушеній камери.
- Мікрофон рівномірно переміщують по восьми напрямках від джерела шуму. Чотири напрямки повинні проходити з центру випромінювання до кутів заглушеній камери, а решта - обрані випадково, але не дуже близько по висоті до звуковідбивальних підлозі камери.
- Гучномовець повинен випромінювати чисті тони на частотах 63, 80, 100, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 5000, 6300 8000, 12500, 16000 Гц або смуги білого шуму шириною в одну або третину октави.
- Отримані спади рівнів звукового тиску слід порівняти з розрахованими спадом, що визначаються за законом назад-пропорційній залежності (6 дБ при подвоєнні відстані від джерела шуму).
- Якщо різниці між виміряними і розрахованими спадом рівнів для кожного напрямку і кожної частоти становить величин, наведених в табл.1 цього стандарту, то заглушена камера задовольняє вимогам цього стандарту.

## Висновки по розділу

В першому розділі:

- досліджено особливості конструювання ревербераційної камери;

- описані основні параметри для подальшого визначення вихідних даних;
- розглянуто теоретичну інформацію по темі та певну проблематику реалізації акустичних систем у реальному житті і зроблені певні висновки з приводу подальшої розробки дипломної роботи.

## РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА УМОВИ КОНСТРУЮВАННЯ РЕВЕРБЕРАЦІЙНИХ ТА ЗАГЛУШЕНИХ КАМЕР

## 2.1 Вихідні дані для розрахунку ревербераційної камери.

Заглушені акустичні камери є добре звукоізолюваним та віброізолюваним приміщенням, в якому акустичні хвилі майже повністю відбиваються від огорожувальних поверхонь. Ці камери характеризуються дифузним звуковим полем, в якому щільність звукової енергії в різних точках поля і кутовий розподіл потоку звукової енергії в кожній точці постійні.

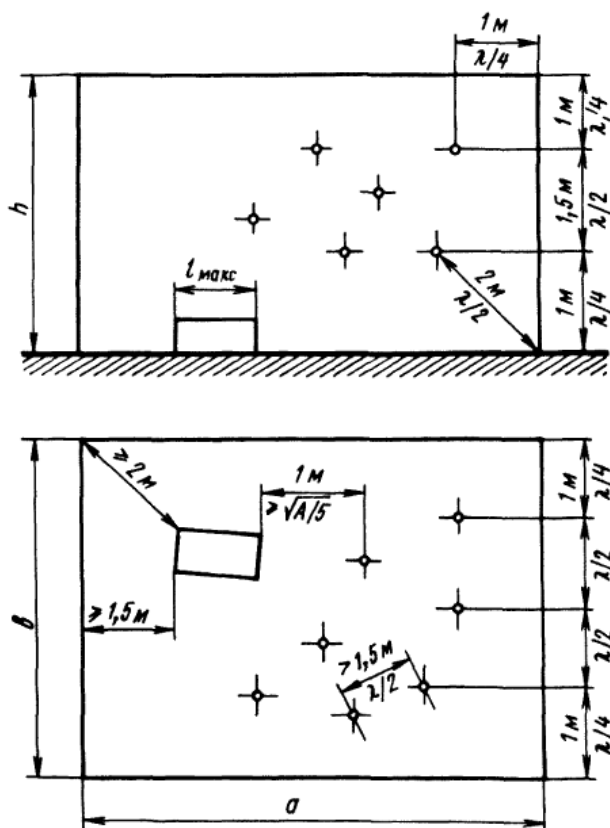


Рис. 1.7 Схема установки випробовується джерела шуму і розміщення точок вимірювань в ревербераційній камері

При проектуванні ревербераційної камери слід враховувати, що для кращої дифузності звукового поля в камерах і більшої точності вимірювань можна досягти дотриманням необхідних співвідношень основних розмірів приміщення вказаних у табл. 2.1, пристроєм непаралельних між собою стін, підлоги і стелі в камері, а також ретельною оздобленням поверхонь камери.

Об'єм ревербераційної камери повинен бути таким, щоб не менше шести точок вимірювання були розташовані в області відбитого звукового поля.

Відношення ширини до довжини приміщення	Відношення висоти до довжини приміщення
0,83	0,47
0,83	0,65
0,79	0,63
0,68	0,42
0,7	0,59

Табл. 2.1 Співвідношення розмірів для ревербераційних камер прямокутної форми.

Джерело звуку встановлюється в одному з кутів камери, не паралельно її стінам, на відстані не менше 1,5 метра від стін і 2 метри від кута камери. Відстань від випробовуваного джерела звуку до найближчої до нього точки вимірювання встановлюється не менше  $\sqrt{\frac{A}{5}}$ .  $A$  - еквівалентна площа звукопоглинання в камері, в октавній смузі частот, де  $\alpha_{\text{макс}}$ , але не менше 1 метра.

Відстань від точок вимірювання до огорожувальних поверхонь камери є не менше  $\frac{\lambda}{4}$  і більше одного метра, від кутів камери  $\frac{\lambda}{2}$  та більше двох метрів, де  $\lambda$  – це довжина хвилі нижньої граничної частоти вимірювання, в метрах.  $\lambda = 7,4$  метра, де октавна смуга 63 Гц, для якої гранична частота дорівнює 45 Гц. При октавній частоті 63 Гц, де гранична частота = 90 Гц,  $\lambda = 3,8$  м.

Точки вимірювання знаходяться на однаковій висоті від підлоги або в площині, паралельній іншим огорожувальним поверхням камери. Вихідними даними для розрахунку і проектування ревербераційної камери являють собою вибраний метод визначення шумових характеристик джерел, максимальний габаритний розмір випробовуваних джерел звуку, частотний діапазон вимірювань, необхідна точність вимірювань, стандартна будівельна сітка колон і висота поверхів виробничих або лабораторних корпусів, де буде відбуватися будівництво камери.



Так само має бути взято до уваги звукоізоляція камери. Камера повинна бути ізольована від зовнішніх шумових і вібраційних перешкод в діапазоні частот вимірювань.

## **2.2 Вихідні дані для розрахунку заглушеної камери.**

Заглушені камери являють собою добре звуко- і вібро ізольовані приміщення, в яких звукові хвилі майже повністю поглинаються при падінні на огорожувальні поверхні, облицьовані спеціальними звукопоглинаючими конструкціями.

Заглушені камери характеризуються наявністю вільного звукового поля біжучих хвиль, в якому звуковий тиск обернено пропорційно відстані від центру джерела до точки прийому.

Для вимірювання шумових характеристик джерел звуку можуть застосовуватися камери двох видів: з звукопоглинаючою підлогою, в яких всі внутрішні поверхні покриті звукопоглинаючим матеріалом, та зі звуковідбивальною підлогою, в яких тільки стеля і стіни мають звукопоглинаючі властивості.

Заглушені камери зі звукопоглинальною підлогою призначені для випробування малогабаритних джерел шуму або джерел, які працюють в підвішеному стані. Центр випромінювання поєднують з геометричним центром досліджуемого джерела і вважають, що випромінювання шуму відбувається в сферичний простір (рис. 2.1, рис.2.2).

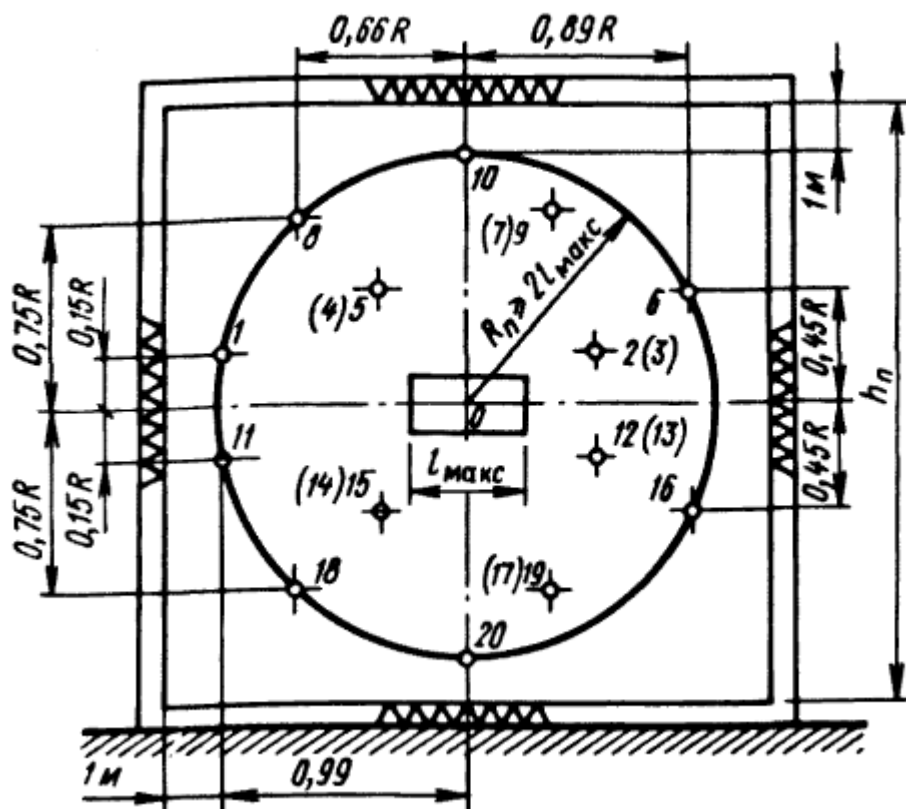


Рис. 2.1 Розташування джерела звуку та точок вимірювання на сферичній вимірювальній поверхні (розріз)

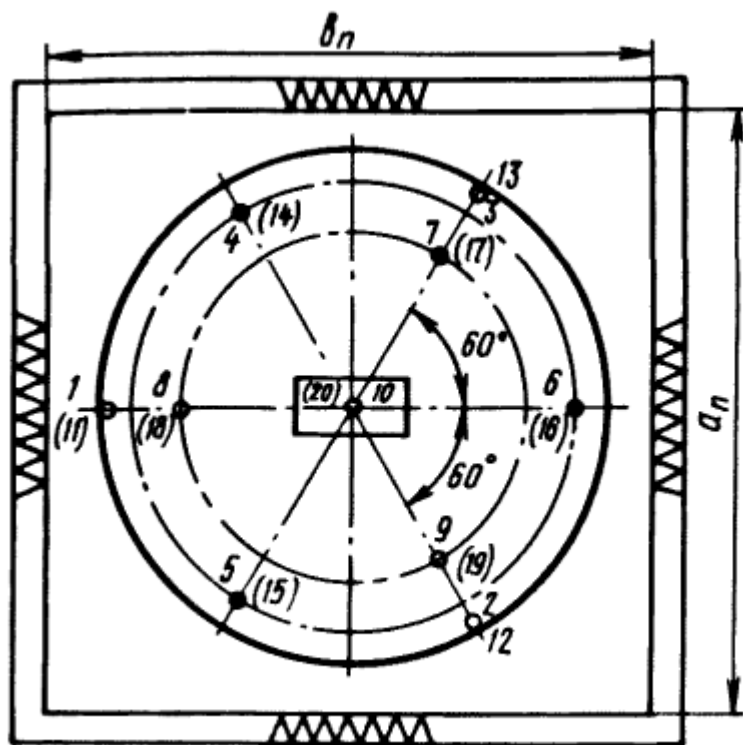


Рис 2.2 Розташування джерела звуку та точок вимірювання на сферичній вимірювальній поверхні(план)

Камери зі звуковідбивальною підлогою призначені для випробування середніх і великих джерел шуму, а також джерел, які можуть працювати тільки при їх установці на жорстку поверхню, в таких камерах поверхню підлоги можна вважати повністю звуковідбивною, а центр випромінювання розташовувати на його поверхні. При цьому випромінювання шуму відбувається в напівпростір і жорстка підлога наближає умови роботи переважної більшості джерел шуму до природних.

Тому заглушені камери з жорсткою звуковідбивальною підлогою є більш розповсюдженим при визначенні акустичних характеристик машин (рис. 2.3., рис. 2.4.).

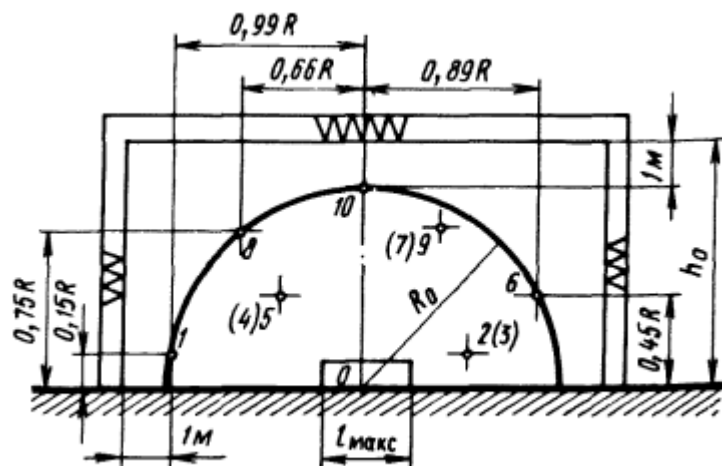


Рис 2.3. Розташування джерела звуку та точок вимірювання на полусфері.  
(розріз)

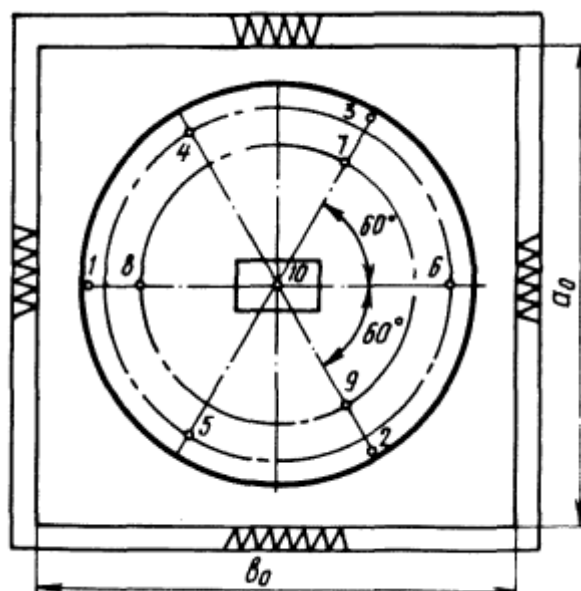


Рис. 2.4. Розташування джерела звуку та точок вимірювання на полусфері  
(план)

Вихідні дані для розрахунку та конструювання заглушених камер є:

- Метод розрахунку акустичних характеристик джерел.
- Максимальні габаритні розміри досліджуваних джерел.
- Частотний діапазон вимірювань.
- Спосіб установки джерела шуму.
- Точність вимірів.
- Стандартна будівельна сітка колон та висота поверхів лабораторних корпусів.

В заглушених камерах повинна забезпечуватись потрібна шумоізоляція від сторонніх перешкод в діапазоні частот вимірювання.

## 2.3 Акустичний розрахунок ревербераційних камер для вимірювань точним методом

Визначаємо максимальний розмір  $l_{max}$  огинаючого паралелепіпеда найбільшого з джерел шуму, які передбачається досліджувати в проектованій ревербераційній камері, а також об'єм джерела -  $V_{дж}$ , м<sup>3</sup>.

З врахуванням усіх вимог та дивлячись на рис. 1.7, розраховуємо мінімальні розміри ревербераційної камери, в метрах:

Довжина камери:

$$\alpha = l_{max} + 3,5; \text{ або } \alpha = l_{max} + \sqrt{\frac{A}{5}} + \frac{\lambda}{4} + 1,5, (2.1)$$

де  $A$  – еквівалентна площа звукопоглинання, м<sup>2</sup>, що в свою чергу розраховується за формулою:

$$A = \alpha_{\max} S_v; (2.2)$$

$\alpha_{\max}$  – максимальне значення коефіцієнта звукопоглинання.

Ширина камери  $b \geq \lambda + 2$ , або  $b \geq 1,5\lambda$ ;

Висота камери  $h \geq \lambda$ , або  $h \geq \frac{\lambda}{2} + 2$ .

Визначаємо об'єм камери:

$$V = abh; (2.3)$$

Перевіряємо об'єм камери  $V$  з заданим частотним діапазоном вимірювань та об'ємом досліджуваного джерела шуму, а також вимогам, що відповідають ГОСТ 12.1.025-81 (камери об'ємом до  $200 \text{ м}^3$  при обмеженнях частотного діапазону вимірювань відповідно до табл. 2.2):

$$V \geq 100V_{\text{дж.макс.}}; (2.4)$$

Середньогометрична частота полоси, Гц		Мінімальний об'єм ревербераційної камери, $\text{м}^3$
октавна	третьоктавна	
-	$\geq 125$	150
-	$\geq 160$	100
$\geq 250$	$\geq 200$	70

Табл. 2.2 Обмеження частотного діапазону.

Якщо об'єм камери менше ніж  $300 \text{ м}^3$ , але вимога (1.5) не виконана, то збільшуються розміри і об'єм камери до  $300 \text{ м}^3$ .

Якщо об'єм камери більше ніж  $300 \text{ м}^3$  (до  $2000 \text{ м}^3$ ), то цю камеру можна використовувати тільки лише для вимірювань по технічному методу і розглядати її, як вимірювальне приміщення.

Визначаємо площу внутрішніх огорожувальних поверхонь,  $\text{м}^2$ :

$$S_v = 2(ab + ah + bh). (2.4)$$

По отриманому значенню  $A$ ,  $\text{м}^2$ , визначається відстань  $d = \sqrt{\frac{A}{5}}$  і перевіряється мінімальні розміри камери з врахуванням  $d$ .

З урахуванням вимог з табл. 1.4 та розрахованих мінімальних розмірів камери визначають її конфігурацію. Після вибору товщини матеріалу та виду внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій камери, її конфігурації та основних розмірів, визначають уточнену величину  $S_v, \text{м}^2$ , внутрішніх поверхонь камери.

За формулою (2.35) визначають еквівалентну площу звукопоглинання для всіх видів поверхонь камери в кожній октавній смузі, і сумарну еквівалентну площу звукопоглинання,  $\text{м}^2$ ,  $A_\Sigma = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$ , в кожній смузі частот. Необхідно, щоб в кожній смузі частот  $\frac{S_v}{20} \leq A_\Sigma \leq \frac{S_v}{6,2}$ . Якщо ця умова не виконується, то слід змінити оздоблення внутрішніх поверхонь камери так, щоб коефіцієнт звукопоглинання цих поверхностей змінився в потрібну сторону.

$$A = \alpha_{\max} * S_v \quad (2.5)$$

## 2.4 Акустичний розрахунок заглушених камер.

Визначаємо  $l_{\max}$  (максимальний розмір) огинаючого паралелепіпеда самого великого джерела шуму, який буде досліджуватися в камері.

Радіус сферичний або полусферичний вимірювальної поверхні  $R$ , має бути більшим, або рівним подвоєному максимальному розміру огинаючого паралелепіпеда  $l_{\max}$ , але не менше 1 м:

$$R \geq 2l_{\max}; R \geq 1 \text{ м.}$$

Для спрощення проектування різних типів камер приймаються наступні значення:

$R_n = 2l_{\max}$  – зі звукопоглинаючою підлогою;

$R_o = 3l_{\max}$  – звуковідбивна підлога;

$R_o R_n \geq 1 \text{ м}$  – для обох видів.

Вільні розміри камери повинні бути достатніми, щоб розмістити в центрі джерело шуму та навкруги нього вимірювальну поверхню. При цьому точки вимірювання повинні знаходитися не ближче  $\frac{\lambda_n}{4}$  від звукопоглинаючих конструкцій камери, де  $\lambda_n$  – довжина хвилі для нижньої граничної частоти.

Вимірювання які починаються з октавної полоси з середньгеометричною частотою 125 Гц, відстань приймають рівним 1 м, або більше.

Так як реальні джерела звуку зазвичай мають не квадратну форму, а більш витягнуту, довжину камер  $b_0$  та  $b_n$  приймаємо в 1.1 разів більше ніж її

ширина  $a_0$  та  $a_n$ . Щодо висоти камери, зі звукопоглинаючою підлогою також зменшують на 0.1.

Визначається мінімально потребуючі вільні розміри камери в середині, в метрах:

Довжина камери зі звукопоглинаючою підлогою:

$$b_n = 1.1(2(R_n + 1)) = 4.4 l_{max} + 2.2; (2.6)$$

Довжина камери зі звуковідбивною підлогою:

$$b_0 = 1.1(2(R_0 + 1)) = 6.6 l_{max} + 2.2; (2.7)$$

Ширина камери зі звукопоглинаючою підлогою:

$$a_n = 2(R_n + 1) = 4 l_{max} + 2; (2.8)$$

Ширина камери зі звуковідбивною підлогою:

$$a_0 = 2(R_0 + 1) = 6 l_{max} + 2; (2.9)$$

Висота камери зі звукопоглинаючою підлогою:

$$h_n = 0.9(2(R_n + 1)) = 3.6 l_{max} + 1.8; (2.10)$$

Висота камери зі звуковідбивною підлогою:

$$h_0 = R_0 + 1 = 3 l_{max} + 1; (2.11)$$

Наступним етапом знаходиться внутрішній об'єм камери,  $\text{м}^3$ :

$$V_n = a_n * b_n * h_n, \text{ або}$$

$$V_0 = a_0 b_0 h_0; (2.12)$$

По стандартам, об'єм заглушеної камери не повинен бути менше  $100 \text{ м}^3$

Перевірка відношення об'єму камери з об'ємом максимального джерела звуку в камері:

$$V_n, V_0 \geq 200 V_{\text{ист.}} (2.13)$$

Якщо, ця вимога не виконується, то пропорційно збільшуються всі розміри камери, погоджуючи ці збільшення з сіткою колон та висотою будівлі, де буду знаходитися камера.

Звукопоглинаючу поверхню камери з облицьованою підлогою, знаходять за формулою:

$$S_n = 2a_nb_n + 2a_nh_n + 2b_nh_n,$$

Зі звуковідбивною підлогою, за формулою:

$$S_0 = a_0b_0 + 2a_0h_0 + 2b_0h_0. (2.14)$$

Виходячи із значення коефіцієнта звукопоглинання облицьовання заглушеної камери  $\alpha > 95\%$  та заданого частотного діапазону вимірювань, обирається необхідна для облицьовання камери звукопоглинаюча конструкція.

На сьогоднішній день, найбільш часто застосовуються в якості облицьовки заглушених камер - клинові конструкції. На рис. 2.5 приведені частотні характеристики коефіцієнта звукопоглинання  $\alpha$  й звуковідбивання  $\beta$  для клинових конструкцій різної довжини з штапельного скловолокна і пінополіуретану з закліновим повітряним проміжком 0,15 і 0,1 м.

У деяких випадках задовольнити вимогам стандарту по величині відхилення звукового поля  $\Delta L$  можуть камери з меншим, ніж 0,95 коефіцієнтом звукопоглинання. На рис. 2.6 приведена залежність коефіцієнта звукопоглинання визначеним при нормальному падінні, облицьованих заглушених камер зі звукопоглинальним підлогою, це дві верхні лінії, камер з жорсткою підлогою, це три нижні лінії, від максимального розміра випробовуваних в них джерел шуму при різних величинах  $\Delta L$ , При цьому можна застосовувати більш прості, ніж клинові, облицьовання в заглушених камерах або клини меншої довжини.

При відомому радіусу вимірювальної поверхні  $R_0$  або  $R_n$ , а також площу звукопоглинаючих матеріалів на стінах в камері  $S_0$  або  $S_n$ , заздалегіть визначається по графікам чекаєму величину відхилення  $\Delta L$  поля в точках на вимірювальній поверхні.



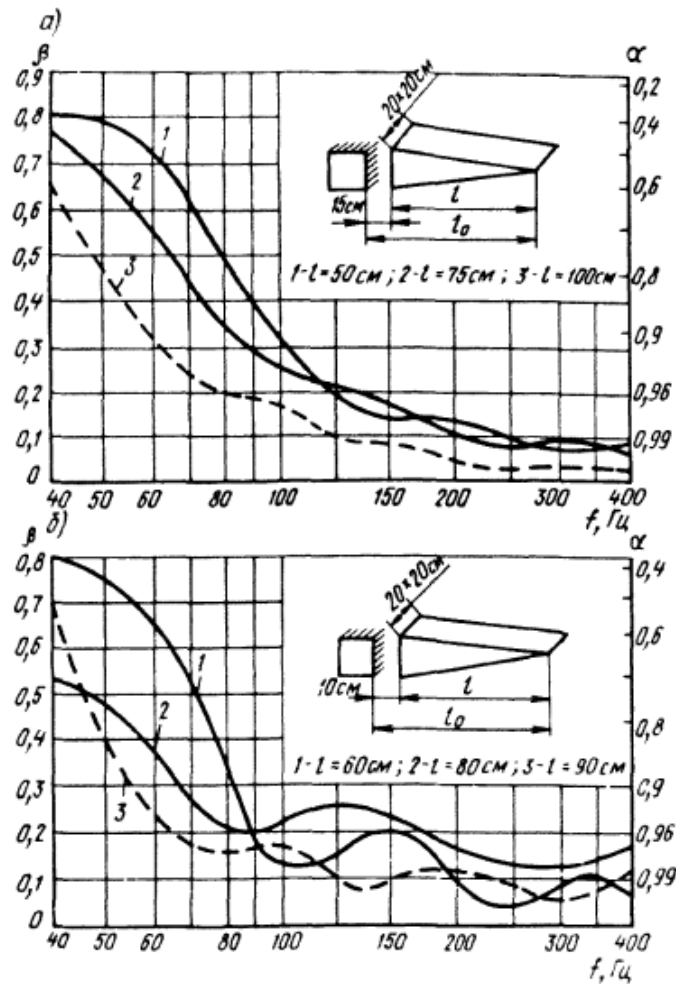


Рис. 2.5. Частотні характеристики коеф. звукопоглинання  $\alpha$  та звуковідбиття  $\beta$ , при нормальному падінні звукової хвилі для клинів.

а – штапельне скловолокно; б – пенополіуретан.

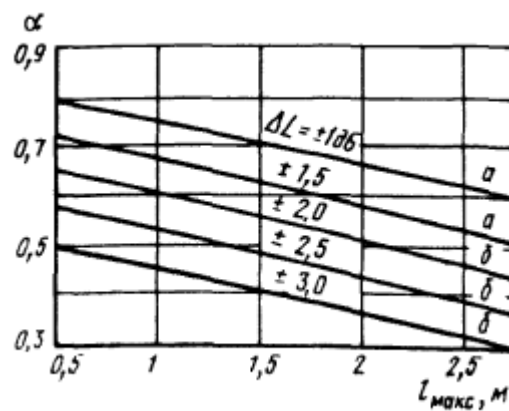


Рис. 2.6. Залежність коефіцієнта звукопоглинання  $\alpha$  облицювання заглушеної камери для точного методу, при різних значеннях  $\Delta L$

а – зі звукопоглинаючою підлогою, б – зі звуковідбиваючою підлогою.

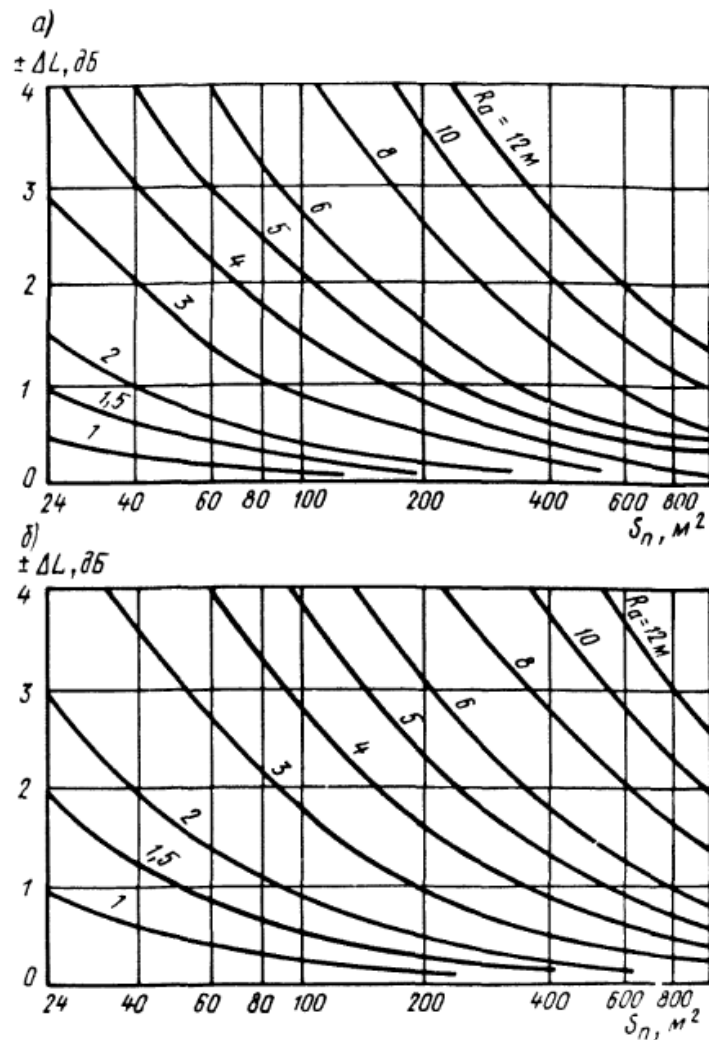


Рис 2.7. Залежність відхилення звукового поля від закону  $\frac{1}{R_n}$  при різних значеннях коефіцієнту звукопоглинання облицтовки.

а – для  $\alpha = 0.95$ ; б – для  $\alpha = 0.9$ ;

Отриману величину  $\Delta L$  порівнюють з допустимим значенням по табл. 2.3.

У випадку, якщо отримана величина більше аніж допустиме значення, обирається звукопоглинаючу конструкцію с більшим коефіцієнтом поглинання, або збільшують розміри вільного простору.

Вид камеры	Среднегеометрические частоты третьоктановых полос, Гц	$\Delta L$ , дБ
Заглушенная камера со звукоотражающим (жестким) полом	$\leq 500$	$\pm 2,5$
	1000–5000	$\pm 2$
	$\geq 5000$	$\pm 3$
Заглушенная камера со звукопоглощающим полом	$\leq 500$	$\pm 1,5$
	1000–5000	$\pm 1$
	$\geq 5000$	$\pm 1,5$

Табл. 2.3 Допустима різниця спадів  $\Delta L$ .

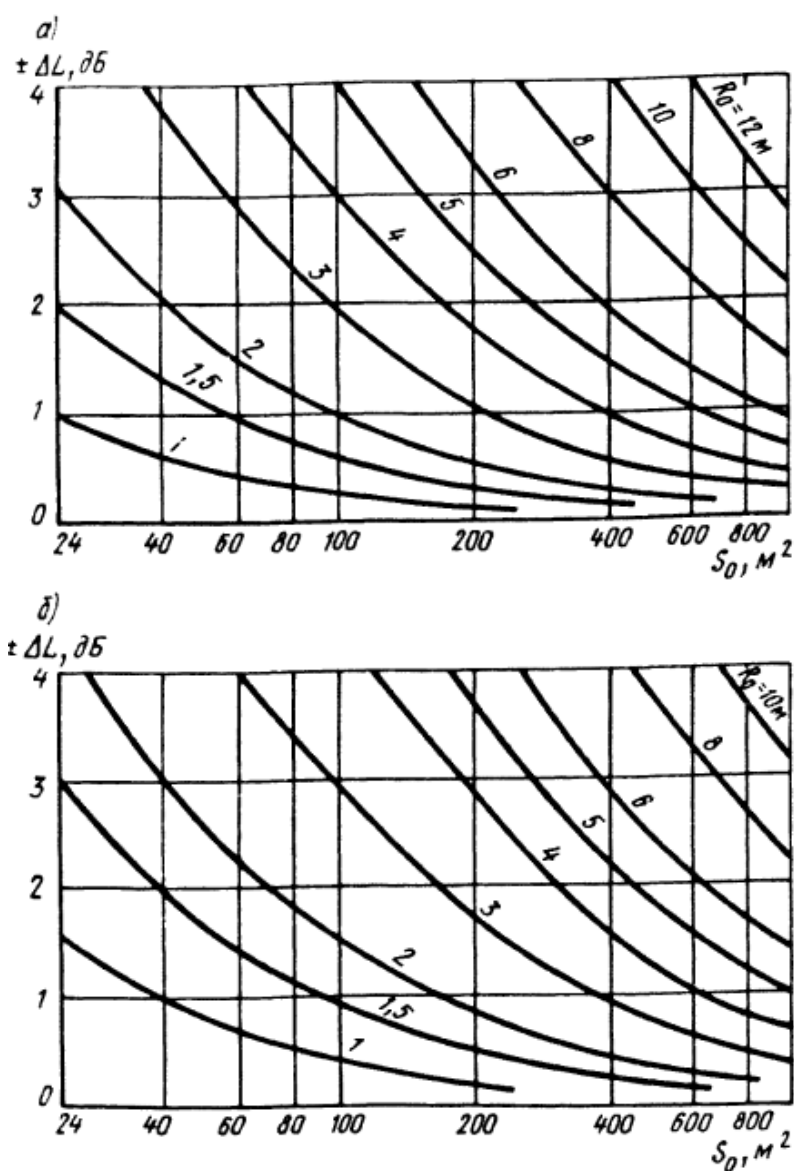


Рис. 2.8. Залежність відхилення звукового поля від закону  $\frac{1}{R_0}$ , зі звуковідбивною підлогою при різних коефіцієнтах.

а – для  $\alpha = 0.8$ ; б – для  $\alpha = 0.7$ ;

Визначаємо максимальну величину відхилення звукового поля  $\Delta L$ , дБ в точках на вимірювальній поверхні по формулам:

Для сферичного типу:

$$\pm \Delta L = 10 \lg \left( 1 \pm \frac{16\pi R_n^2 (1 - \alpha)}{S_n \alpha} \right); (2.15)$$

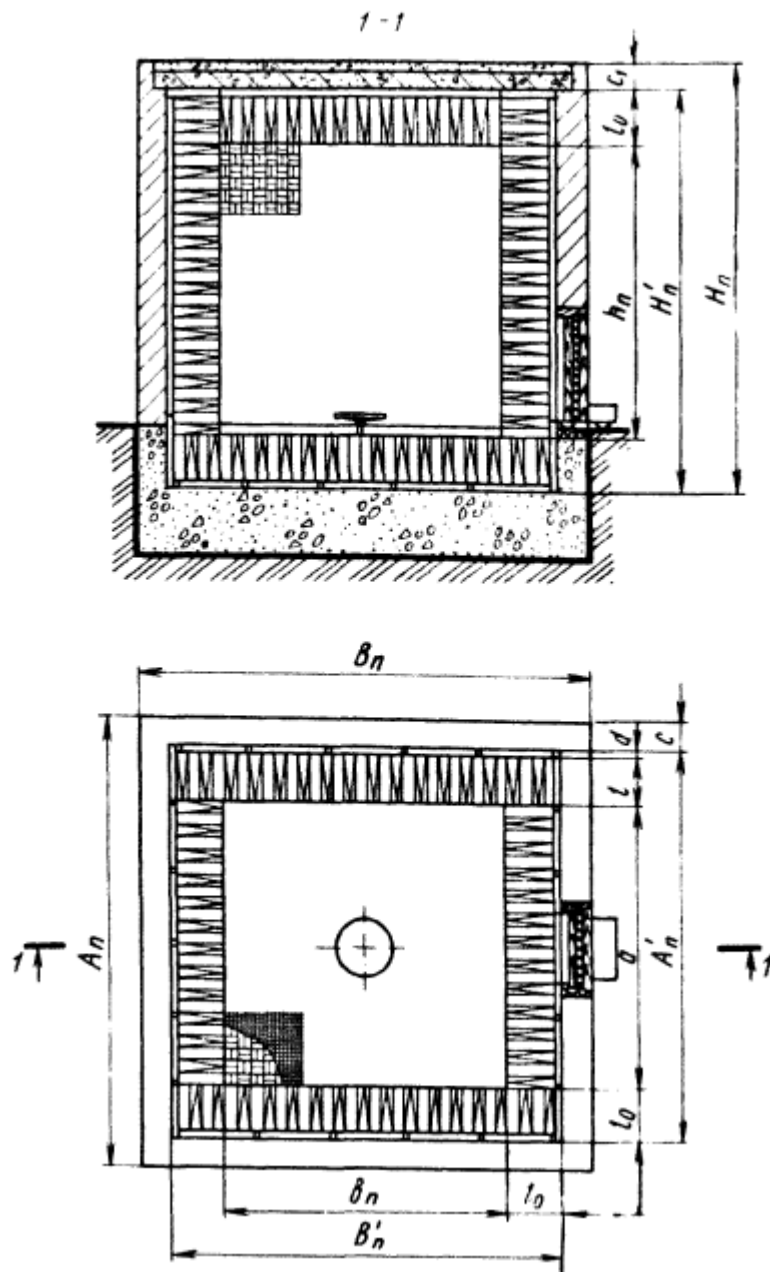


Рис. 2.9. Схема заглушеної камери(звукопоглинаюча підлога).

Для полусферичного типу:

$$\pm \Delta L = 10 \lg \left( 1 \pm \frac{8\pi R_0^2 (1 - \alpha)}{S_0 \alpha} \right); (2.16)$$

Де,  $S_n, S_0$  – площа звукопоглинаючої поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$R_n, R_0$  – радіуси вимірювальних поверхонь.

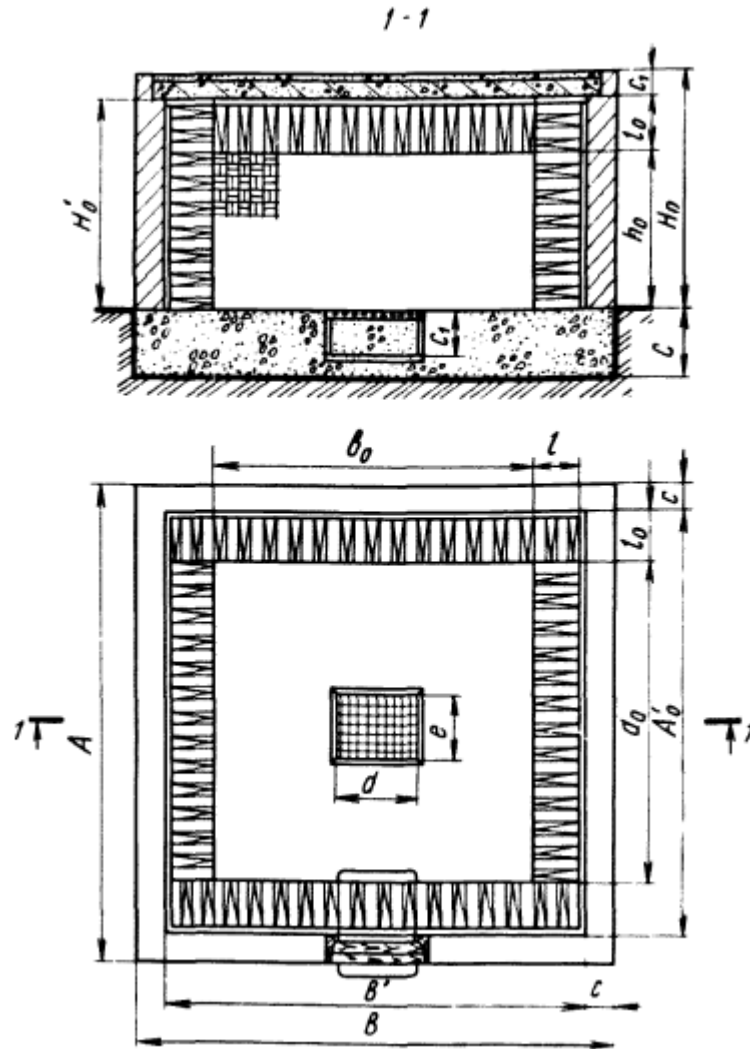


Рис 2.10. Схема заглушеної камери з звуковідбиваючою підлогою.

Обравши загальну товщину звукопоглинаючої конструкції, довжину клина з заклиновим повітряним проміжком  $l_0$ , визначаються внутрішні розміри камери до облицювання.

Ширина зі звуковідбиваючою підлогою:

$$A_0' = a_0 + 2l_0; (2.17)$$

Ширина зі звукопоглинаючою підлогою:

$$A_n' = a_n + 2l_0; (2.18)$$

Довжина зі звуковідбиваючою підлогою:

$$B_0' = b_0 + 2l_0; (2.19)$$

Довжина зі звукопоглинаючою підлогою:

$$B_n' = b_n + 2l_0; (2.20)$$

Висота зі звуковідбиваючою підлогою:

$$H_0' = h_0 + 2l_0; (2.21)$$

Висота зі звукопоглинаючою підлогою:

$$H_n' = h_n + 2l_0; (2.22)$$

Обравши матеріал та потрібну товщину стін  $c$  та перекриття  $c_1$ , можна знайти зовнішні розміри камери, які дуже вагомими при розміщенні камери в приміщенні.

Ширина зі звуковідбиваючою підлогою:

$$A_0 = A_0' + 2c; (2.23)$$

Ширина зі звукопоглинаючою підлогою:

$$A_n = A_n' + 2c; (2.24)$$

Довжина зі звуковідбиваючою підлогою:

$$B_0 = B_0' + 2c; (2.25)$$

Довжина зі звукопоглинаючою підлогою:

$$B_n = B_n' + 2c; (2.26)$$

Висота зі звуковідбиваючою підлогою:

$$H_0 = H_0' + c_1; (2.27)$$

Висота зі звуковідбиваючою підлогою:

$$H_n = H_n' + c_1; 2. (2.28)$$

## 2.5. Розрахунок необхідної звукоізоляції і вибір огорожувальних конструкцій камери.

Розрахунок необхідної ізоляції повітряного шуму  $R_{тр}$  проводиться в октавних смугах частот. Якщо шум проникає в ревербераційну камеру з суміжного з нею приміщення, то необхідну ізоляцію повітряного шуму, що огорожують конструкцію в октавній смузі визначають за формулою:

$$R_{трj} = 10! \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}} - 10! gbB_{ш} - 10! gB_u + 10! \lg S - L_{доп} + 6, (2.29)$$

Де  $L_{pi}$  – рівень звукової потужності  $i$  – того джерела, дБ,  $n$  – кількість джерел,  $B_{ш}$  – постійна приміщення з джерелами звуку,  $S$  – загальна площа огорожувальних конструкцій,  $L_{доп}$  – допустимий октавний рівень тиску у камері,  $B_u$  – постійна ревербераційна камери;

Постійна приміщення  $B_{ш}$ , шукається за формулою для кожної октавної полоси по формулі:

$$B_{ш} = \frac{A}{1 - \alpha_{cp}}, (2.30)$$

Де в свою чергу середній коефіцієнт звукопоглинання в приміщенні:

$$\alpha_{cp} = \frac{A}{\sum_{i=1}^n S_i}; (2.31)$$

Якщо шум проникає в ревербераційну камеру з прилеглої території, а сама камера являє собою самотійну, окремо розташовану будівлю, а також якщо одне або кілька огорож камери є зовнішніми огороженнями, то  $R_{тр}$  визначають за наступною формулою:

$$R_{трj} = L_{нар} + 10 \lg S - 10 \lg B_u + 6 - L_{доп}. (2.32)$$

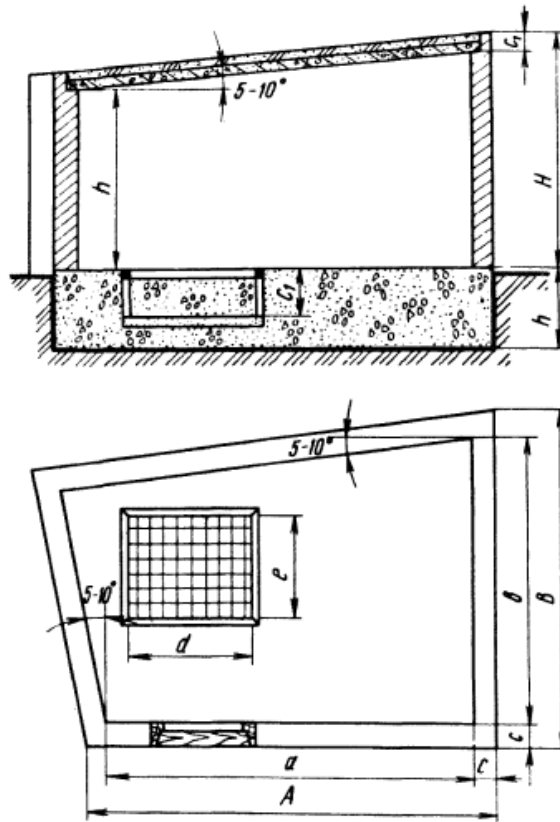


Рис.2.11 Схема ревербераційної камери та її розмірів.

Вибір огорожувальних конструкцій камери з необхідною з розрахунку звукоізоляцією  $R_{mp}$  слід виробляти по таблиці.

У разі коли в камері необхідно забезпечити дуже низький рівень перешкоди та потрібна висока звукоізоляція, рекомендується розташовувати коробку камери в спеціальному звукоізольованому приміщенні. В цьому випадку звукоізоляція забезпечується двома окремо розташованими огорожувальними конструкціями.

Стіни камер рекомендується виконувати з цегляної кладки в 1-3 цегли з обов'язковою штукатуркою з однієї або обох сторін, перекриття - з монолітного залізобетону або залізобетонних плит з замоноличуванням стиків між плитами і стінами камери. По величині  $R_{mp}$ , вибирають товщину стін  $s$  перекриття -  $c$ , визначають зовнішні габарити ревербераційній камери, пов'язуючи їх з сіткою колон і висотою поверхів корпусу, де передбачається змонтувати ревербераційну камеру, це ми можемо побачити на рис. 2.12.



## 2.6 Розрахунок приміщень та ревербераційної камери технічним методом

Вимоги до співвідношення сторін камер, а також до встановлення джерела шуму та розміщення точок вимірювання такі ж, як і для ревербераційних камер об'ємом до 300 м за точним методом. Якщо необхідно проводити вимірювання не тільки в октавних частотних діапазонах, але і в рівнях звуку, час реверберації в камері слід зменшити на низьких частотах, щоб її значення не сильно відрізнялося один від одного за частотою.

Для цього використовуються спеціальні ревербераційні приміщення, де на стінах та стелі розміщуються резонансні низькочастотні звуки у вигляді поглиначів у вигляді панелей розміром 0,95 x 0,65 м та товщиною 5 см. Вони являють собою дерев'яну раму з брусків, до якої кріпиться лист фанери товщиною 4 мм, всередині каркас заповнений склопластиком завтовшки 5 см. Загальна площа панелей повинна становити близько 7% площі стін і стелі приміщення. Панелі слід закріплювати секціями, що не перевищують 1,5 м на стінах та стелі приміщення. Частотна характеристика звукопоглинання резонансної панелі наведена у додатку. 2.

Час реверберації в камері або спеціальному приміщенні, с, обчислюється в кожній октавній смузі за формулою:

$$T = \frac{0,16V}{A}; (2.32)$$

Де V – об'єм камери, в метрах кубічних.

A – еквівалентна площа звукопоглинання, м<sup>2</sup>

В октавній полосі приблизно 1000 Гц, час реверберації T<sub>N</sub> повинно бути у діапазоні 0,5с < T<sub>n</sub> < 1 с.

На частотах нижче 6300 Гц час реверберації T повинно мати значення від 0,8K<sub>t</sub>T<sub>N</sub> до 1,1K<sub>t</sub>T<sub>N</sub>, але на частотах вище 6300 Гц час реверберації T, має значення від 0,8K<sub>t</sub>T<sub>N</sub> до 1,1K<sub>t</sub>T<sub>N</sub>, де,

$$K_t = 1 + \frac{257}{f^3 \sqrt{V}}; (2.33)$$

Де f – середньгеометрична частота октавної полоси, Гц,

V – об'єм приміщення(камери).

Знаючи розміри камери або приміщення, обробку його внутрішніх по поверхонь, кількість і площа резонансних панелей, Величина  $A$  знаходиться за формулою (1.3) у всіх октавних смугах частот і за формулою (2.2) знаходиться час реверберації, а також і в інших октавних смугах. Коефіцієнт  $K_r$  обчислюють для всіх октавних смуг, перевіряють співвідношення значень  $T$  та  $T_N$  по формулі (2.33).

Якщо величини часу реверберації не задовольняють вимогам які були наведені вище, то зменшують або збільшують кількість панелей, щоб домогтися потрібного співвідношення величин  $T$  та  $T_N$ .

## **2.7 Конструкція ревербераційної камери**

Ревербераційні камери повинні розташовуватися або в окремій будівлі на першому поверсі, або на нульовій позначці всередині виробничих або лабораторних корпусів. Вони являють собою окрему будівельну коробку, розташовану або на окремому фундаменті або на масивній фундаментній плиті, яка одночасно служить жорсткою підлогою і підставкою для установки випробовуваних джерел звуку, або шуму.

Залежно від оточуючих умов, в яких буде побудована камера, рівня шуму і вібрацій на місці її установки і вимог до рівнів шуму та перешкод в камері, її встановлюють на масивній фундаментальній плиті або на пружних прокладках, які підкладають під плиту або під стіни коробки на фундамент,

Пружні прокладки при тривалому терміні служби старіють і втрачають властивості амортизаторів, тому необхідно періодично їх міняти. Для зручності їх заміни необхідно передбачити легкий доступ до них і потужності, щоб підняти камеру на домкратах без перекосів і пошкоджень її конструкцій.

При розміщенні ревербераційних камер усередині корпусів будинків слід передбачати повну розв'язку фундаментів корпусу будівлі і коробки камери, Конструкції, камер не повинні мати жорстких зв'язків з конструкціями основної будівлі.

Ревербераційні камери невеликих розмірів можуть бути установлені і на міжповерхових перекриттях будівель. Але в цьому випадку завжди необхідно їх встановлювати на пружні прокладки.

Для поліпшення дифузности звукового поля в камері стіни, підлога і стеля повинні бути не паралельні один одному. Кути нахилу можуть дорівнювати 5-10°.

Особливу увагу слід приділяти обробці внутрішніх поверхонь камер, які повинні мати рівну гладку поверхню, без внутрішніх пустот. Не допускається застосування оббивки стін сухою штукатуркою і другими тонкими листами і плитами. Найчастіше стіни, підлогу і стелю штукатуряться цементним розчином високої марки з подальшим залізненням або поліруванням поверхні і забарвленням олійною фарбою. Для облицювки стін можна застосовувати мармурові або ювелірні гранітні плити з щільним закладенням швів і заливкою рідким розчином пустот.

Підлогу викладають великими полірованими бетонними плитами з мармуровою крихтою. Не допускається викладати підлогу дрібними керамічними плитками. Така обробка внутрішніх поверхонь ревербераційних камер дозволяє забезпечити мінімально можливі коефіцієнти звукопоглинання і необхідну дифузність звукового поля в камері.

Матеріал і товщина огорожувальних конструкцій камер підбирається, виходячи з необхідної з розрахунку звукоізоляції. Найчастіше стіни камер виконуються з цегляної кладки товщиною 38-64 см (в 1,5-2,5 цегли) або з монолітного залізобетону товщиною 30-50 см. Переkritтя виконують також з монолітного залізобетону або зі збірних залізобетонних плиток з замонолічуванням швів між ними і місцем примикання плит.

По контуру до стін камери, зверху плитки покривають рулонної шлаковатою і засипають шлаком. Якщо камера являє собою окрему будівлю, то роблять додатково двускатну покрівлю як в звичайних будинках, в стіни штукатурять зовні.

Якщо необхідна звукоізоляція камери вища за ту, яка може бути забезпечена одинарними стінами і переkritтям, то коробку ревербераційної камери розміщують всередині спеціальної будівлі, що має достатню власну звукоізоляцію, або всередині існуючої будівлі.

Двері в ревербераційну камеру повинні мати звукоізольовуючу здатність, що дорівнює звукоізоляції обраних огорожувальних конструкцій камери. По периметру дверей повинні мати ступінчасті стіни і ущільнюючі прокладки з м'якої губчастої гуми і гумових труб.

Клинові затвори повинні забезпечувати плотне прилягання дверей по контуру до ущільнюючих прокладок і давати можливість легко відкрити і закрити двері як зовні, так і зсередини камери. Розміри дверей повинні забезпечувати вільне переміщення випробовуваних джерел шуму в камеру і з камери.

Конструкція дверей може бути різною. Найчастіше це зварювана порожниста конструкція з куточків і металевих листів, загальною товщиною 10-15 см, всередину якої вносять або мінераловатні плити або насипають сухий пісок в залежності від величини необхідної звукопоглинаючої здатності.

До стін і стелі камери через рівні відстані, приблизно 1 м, повинні кріпитися металеві кронштейни або гаки для кріплення мікрофонів, підвіски гучномовців і інших допоміжних пристроїв.

Для кріплення випробовуваних джерел шуму в підлозі камери передбачають кріпильні пристрої, якщо фундаментом для їх установки служить нижнє перекриття камери.

Спеціальний віброізований фундамент розташовують так, щоб випробовувані джерела шуму були встановлені на рівні підлоги в камері.

Конструкцію, розміри і масу фундаменту підбирають так само, як і при влаштуванні фундаменту в заглушених камерах. Пристрій поворотної платформи або столу не встановлюється.

На тому ж фундаменті можуть проходитися випробування і окремих вузлів і агрегатів, які не мають власного приводу. Для цієї мети поза камерою встановлюють зовнішній привід, вал який через стіну проходить в ревербераційну камеру к віброізованому фундаменту і з'єднується з випробовуваним джерелом шуму. Зовнішній привід може складатися і з промислово електроприводу типу ПМУ і передавального валу. Конструкція підшипників передавального валу повинна забезпечувати мінімальний шум приводу, тому його потрібно звукоізулювати за допомогою спеціального «кожуха».

Такі ж або аналогічні звукоізолюючі пристрої в стінах як ревербераційних, так і заглушених камер слід влаштовувати для проходження технологічних комунікацій, труб, проводів і інших пристроїв, необхідних для функціонування випробовуваних джерел шуму.

В залежності від методу вимірювань, максимальних габаритних розмірів випробовуваних джерел шуму, частотного діапазону вимірювання, а також з урахуванням стандартної будівельної сітки колон і висоти поверхів виробничих корпусів, розроблено п'ять основних типів ревербераційних камер.

Основні параметри і характеристики рекомендованих типів ревербераційних камер в остаточному вигляді представлені в додатку № 1.

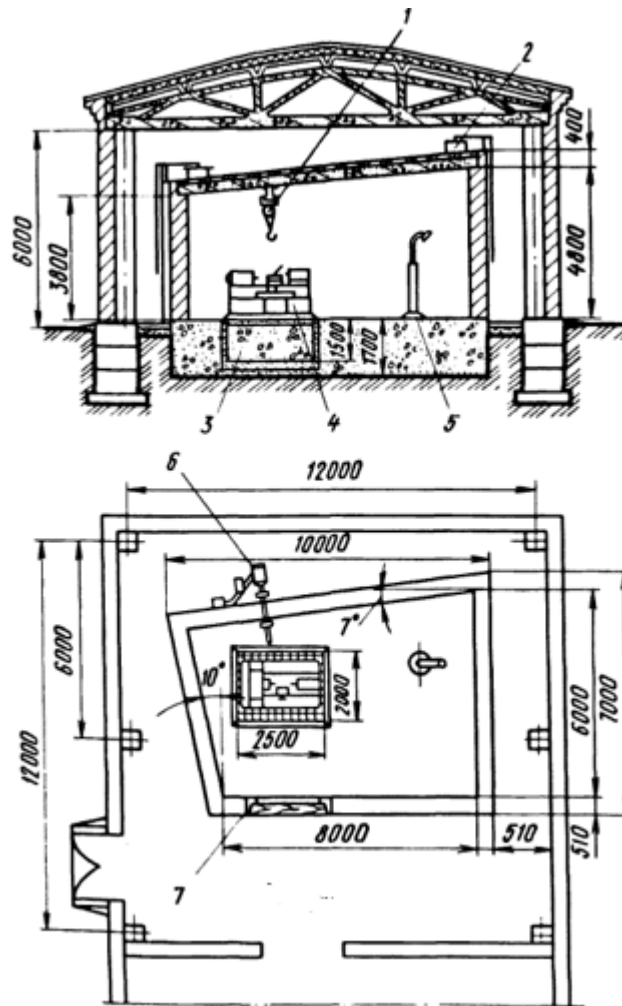


Рис. 2.12. Конструкція та розміщення ревербераційної камери 1-го типу в лаб. Корпусі.

1 – електротельфер, 2 – вентиляційний затвор для вентиляції камери, 3 – віброізований фундамент, 4 – випробуване джерело шуму, 5 - стійка для кріплення мікрофона, 6 – зовнішній привод, 7 – вхідний отвір.

## 2.8 Конструкція заглушених камер

Заглушені камери повинні розташовуватися в окремому будинку, на першому поверсі або на нульовому поверсі всередині будівлі або лабораторних корпусів. Вони являють собою окрему будівельну коробку, розташовану або на окремому стрічковому фундаменті або на масивній плиті, яка одночасно служить жорсткою підлогою та основою для установки випробовуваних джерел звуку.

Саме залежно від умов, які оточують та в яких буде побудована камера, рівня перешкод і вібрації на місці установки її встановлюють на масивної

фундаментальній плиті або на пружних прокладках, які підкладають під плиту або під стіни камери на стрічковий фундамент.

Пружні прокладки при тривалому терміні служби зношуються і втрачають властиву їм амортизацію, тому їх необхідно періодично міняти на більш нові. Для зручності заміни прокладок необхідно передбачити легкий доступ до них і можливість підняти камеру цілком без перекосів і пошкоджень конструкції камери.

При розміщенні заглушених камер всередині будівлі потрібно забезпечити повну розв'язку фундаментів корпусу будівлі і коробки камери, Конструкції, камери не повинні мати жорстких зв'язків з конструкціями основної будівлі.

Заглушені камери невеликих розмірів можуть бути встановлені і на міжповерхових перекриттях будівлі. Але в цьому випадку завжди необхідно їх встановлювати на пружні прокладки.

В камерах зі звукопоглинальною підлогою для зручності пересування по камері, над клинами, на рівні підлоги сусідніх з нею приміщень встановлюють дротяну або капронову сітку з осередками не менше 4х5 см. По периметру камери встановлюється монолітний пояс зі спеціальними заставними деталями для кріплення сітки. Під сіткою натягують склотканину для захисту клинів від пилу та сміття.

У випадку зі звуковідбивальною підлогою поверхня нижньої фундаментальної плити є підлогою для пересування по камері.

Підлога камери повинна мати рівну, жорстку та гладку поверхню. Вона покривається асфальтом, або безшовним синтетичним покриттям зі спеціальної мастики, яке має залізнення цементне покриття або підлогу з полірованої мармурової крихти або мармурових плит.

В середині підлоги камери розташовується майданчик для установки досліджуваних акустичних пристроїв, який обладнаний поворотною платформою, заставними деталями для кріплення цих пристроїв. Якщо для установки досліджуємих пристроїв використовується спеціальний віброізолюваний фундамент, він не повинен мати жорсткого зв'язку з конструкціями камери. Маса фундаменту повинна принаймні в 10 разів перевищувати масу максимального встановленого на фундаменті джерела. У центрі фундаменту, якщо необхідно, встановлюють поворотну платформу.

Матеріал і товщина огорожувальних конструкцій камер підбирає ся виходячи з необхідної з розрахунку звукоізоляції. Зазвичай стіни камер виконують з цегляної кладки товщиною 38-64 см (в 1.5-2.5 цегли) або монолітного залізобетону товщиною приблизно 40-50 см.

Перекриття розробляється також з монолітного залізобетону або зі збірних залізобетонних плит з замонолічуванням швів між плитами. Зверху плити покривають рулонною шлаковатою і засипають шлаком.

Якщо камера являє собою окрему розташовану будівля, то роблять додатково двузкатну покрівлю як в звичайних будинках, а стіни штукатурят ззовні.

Якщо потрібна звукоізоляція камери вища, аніж може бути забезпечена одинарними стінами, то коробку заглушеної камери розташовують всередині будівлі, яка має потрібну звукоізоляцію.

Внутрішні поверхні стін заглушеної камери, стелю, а також підлогу для камер зі звукопоглинальною підлогою виконують з розташуванням звукопоглинаючими конструкціями.

При облицюванні клинами типу «КЗК» до стін заглушеною камери прикріплюються дерев'яні бруски, у яких товщина брусків дорівнює ширині прийнятого заклинового проміжку, а до них металеві каркаси з привареними штирями діаметром 7-8 мм і довжиною, що дорівнює приблизно половині довжини клина. На штирі, які «пофарбовані» резинобитумной мастикою, одягаються клини. У заглушених камерах зі звукопоглинальним підлогою клини на підлозі встановлюють на дерев'яні бруски без кріплення, Клин розташовують групами так, щоб межі вершин сусідніх клинів були взаємно перпендикулярні.

Для запобігання від можливого виділення скляного пилу з поверхонь клинів типу КЗК під час експлуатації камери, на клини стелі одягають чохла з склотканини типу ТСТ-6, 93-100. Стіни можуть бути закриті шторками з такої ж тканини.

Щодо дверей в заглушеній камері, вони повинні являти собою блок товщиною, рівній товщині стін камери з відповідною звукоізоляцією повітряного шуму і з ущільненням притворів дверей. Внутрішня сторона дверей повинна бути «усіяною» звукопоглинаючими конструкціями аналогічно як стіни камери. Двері повинні вільно замикатися зсередини і ззовні камери. Двері, облицьовані зсередини клиновими конструкціями, найчастіше

відкочуються по рейках назовні. Розміри дверей повинні бути достатні, щоб вносити, або виносити джерела звуку.

До стін і стелі камери повинні кріпитися кронштейни і блоки для кріплення мікрофонів, вимірювальних гучномовців і різних додаткових пристроїв. В залежності від методу вимірювання, габаритних розмірів досліджуваних джерел звуку, будівельної сітки колон, висоти поверхів, а також беручи до уваги частотний діапазон вимірювань, існує 5 типів камер.

Заглушені камери 0-го, 1-го, 2-го, 3-го типу мають звуковідбивну підлогу, А камера 4-го типу має звукопоглинаючу підлогу.

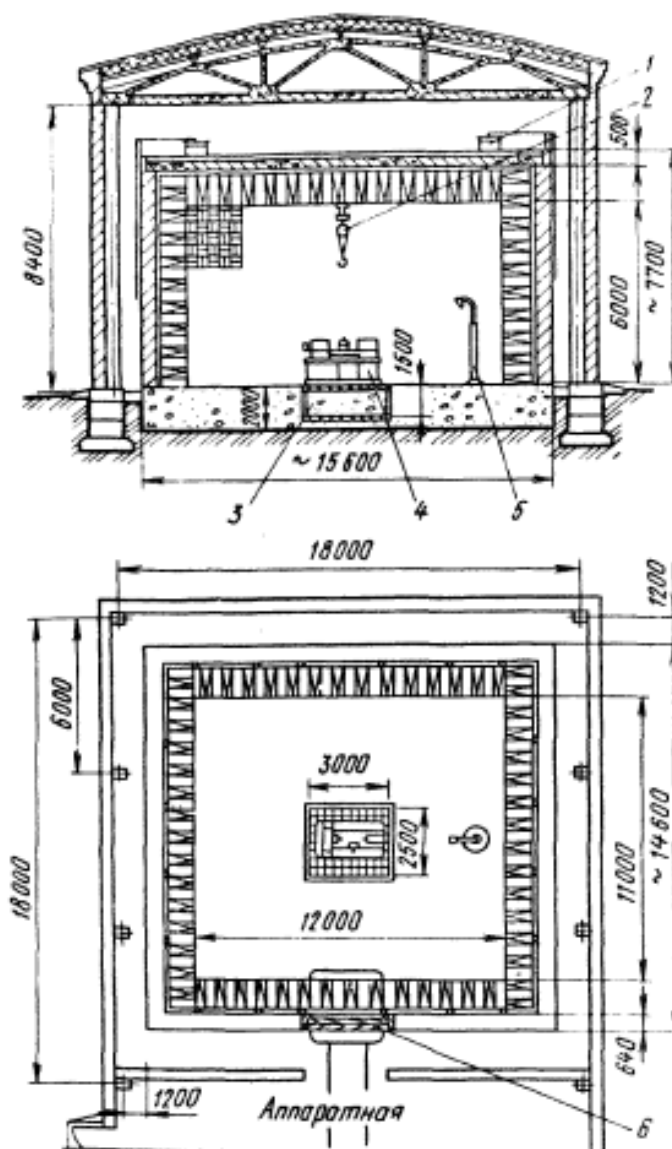


Рис. 2.13. Конструкція заглушеної камери в виробничій будівлі 1 – вентиляційний затвор, 2 – електротельфер, 3 – віброізований фундамент, 4 – досліджуємий пристрій, 5 – кріплення для мікрофона, 6 – Двері.



Розраховані рекомендовані типи заглушених камер в кінцевому вигляді представлені у табл. № 2.3

Основные параметры	Характеристика заглушенных камер типа				
	0	1	2	3	4
Максимальные размеры испытываемых источников ( $l_{\max}$ ), м	1,75	1,55	1,3	0,95	0,7
Объем испытываемых источников $V_{\text{ист}}$ , м <sup>3</sup>	5,35	3,72	2,2	0,85	0,34
Радиус измерительной сферы или полусферы $R$ , м	5,25	4,65	3,9	2,85	1,4
Размеры свободного пространства камеры $a \times b \times h$ , м	14х12х6,4	12х11х6	10х9х5	7х6,6х4	5х4,6х4,4
Объем камеры $V$ , м <sup>3</sup>	1075	792	450	185	100
Общая площадь звукопоглощающих поверхностей камеры $S_v$ , м <sup>2</sup>	500	408	280	155	135
Тип звукопоглощающих клиньев и их размеры $l_1$ , м	КЗК-1 1	КЗК-1 1	КЗК-1 1	КЗК-0,75 0,75	КЗК-0,5 0,5
Количество клиньев, шт.	14560	12050	8550	4803	3987
Толщина кирпичных стен и железобетонного потолка $c$ и $c_1$ , м	0,64 и 0,5	0,64 и 0,5	0,64 и 0,5	0,51 и 0,4	0,4 и 0,51
Наружные размеры камеры $A \times B \times H$ , м	17,6х15,6х8,1	15,6х14,6х8,7	13,6х12,6х6,7	9,8х9,4х5,3	6,3х5,9х4,2
Средняя звукоизолирующая способность ограждений камеры $R_v$ , дБ	61	61	61	58	58
Типовая сетка колонн и высота этажей производственных корпусов, м	18х6 8,4	18 х 6 8,4	18 х 6 8,4	12х6 7,2	9х6 7,2

Табл. 2.3. «Рекомендовані типи заглушених камер»

Основные параметры	Характеристика заглушенных камер типа				
	0	1	2	3	4
Размеры входных дверей, м	2,6х2	2,6х2	2,6х2	2х1	2 х 1
Размеры виброизолированного фундамента, м	3,5х3х2	3х2,5х1,5	2,5х2х1,25	2х1,5х1	—

Двері в заглушені камери повинні мати таку ж ізоляцію від повітряного шуму, як стіни і перекриття камери, вони повинні бути облицьовані зсередини звукопоглинаючими конструкціями аналогічними конструкціям зсередини на стінах камери. Облицювання на дверях камер, як правило, зроблена з клинів довжиною 0,5-1,5 м, тому двері в камері частіше роблять висувними. Їх встановлюють на візках, які відкочуються по рейках з камери в апаратну або коридор біля камери.

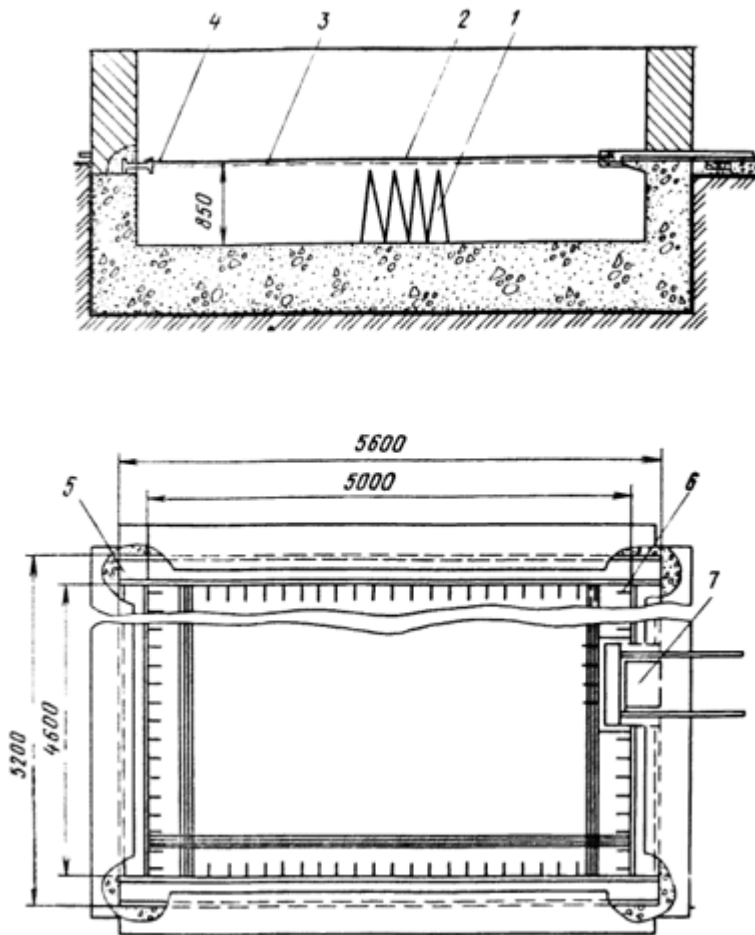


Рис. 2.14. Навісна підлога заглушеної камери зі звукопоглинаючою підлогою.

1 – клини на підлозі камери, 2 – навісна сітчаста підлога зі сталевих каналів, 3 – склотканина під сіткою підлоги, 4 – натяжний пристрій підлоги, 5 – основа для кріплення сітчастої підлоги, 6 – рейки для кріплення клинів на стінах камери, 7 – люк під сіткою.

### Висновки по розділу.

В другому розділі були з'ясовані параметри, умови та матеріали для конструювання безехових, а також ревербераційних камер, а саме:

- Розглянуто конструкції ревербераційних та заглушених камер.
- Основні характеристики.
- Умови, яких потрібно дотримуватися для конструювання.
- Методи розрахунку ревербераційної та заглушеної камери.
- Було знайдено метод розрахунку віброізоляцій камери.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕВЕРБЕРАЦІЙНОЇ ТА ЗАГЛУШЕНОЇ КАМЕРИ, АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 3.1. Розрахунок ревербераційної камери. Вихідні дані.

Акустичний розрахунок основних параметрів та характеристик ревербераційної камери проводився по наступним даним:

Метод розрахунку:

точний.

Максимальний габаратний розмір випробуваних джерел шуму:

$$l_{\max} = 1,25 \text{ м},$$

Об'єм джерела:

$$V_{\text{джерела}} = 1,95 \text{ м}^3,$$

Частотний діапазон вимірювань в октавних смугах 125-8000 Гц. Нижня гранична частота полоси  $f_{\text{гр}} = 90 \text{ Гц}$ ,

Довжина хвилі:

$$\lambda = 3,8 \text{ м}, 0,5\lambda = 2 \text{ м}, 0,25\lambda = 1 \text{ м}. (3.1)$$

Потрібна точність вимірювань: 1,5-3 дБ.

Спектр шуму на місті установки ревербераційної камери та спектр максимально допустимого шума завод в камері такі ж, як і для заглушеної камери:

Камера буде розташована в кутку лабораторного корпусу, який має проліт 12 м, крок колонни – 12 м, висота до низу ферми – 6 м.

### 3.2. Послідовність розрахунку ревербераційної камери.

1) Визначаємо мінімальні розміри всередині камери:

Довжина камери:

$$a = l_{\max} + 4,5 = 5,75 \text{ м}; (3.2)$$

Ширина камери:

$$b = 1,5 + l_{max} + 1,5 = 4,25; (3.3)$$

Висота камери:

$$h = l_{max} + 1,5 = 2,75; (3.4)$$

Визначаємо конфігурацію ревербераційної камери та її внутрішні середні розміри по вимогам таблиці 1.4, проліта та висоти корпусу:

$$V = 8,5 * 5,5 * 4,3 \text{ м}; (3.5)$$

$$\frac{b}{a} = 0,65;$$

$$\frac{h}{a} = 0,51;$$

2) Визначаємо об'єм ревербераційної камери:

$$V = abh = 200 \text{ м}^3; (3.6)$$

3) Перевіряємо розрахований об'єм камери на відповідність до вимог, які були описані

$$200 > 195.$$

4) Розраховуємо площу огорожувальних поверхонь ревербераційної камери:

$$S_v = 2ab + 2ah + 2bh = 213 \text{ м}^2; (3.7)$$

5) Припустимо, що поверхня стіни та підлоги будуть відштукатурні в камері, та пофарбовані масляною фарбою. Еквівалентну площу звукопоглинання розраховуємо за формулою (1.3), а саме для октавної полоси 2000 Гц, де максимальний коефіцієнт звукопоглинання (дані коефіцієнту звукопоглинання показані у додатку №1):

$$A = 0,03 * 213 = 6,4 \text{ м}^2; (3.8)$$

6) Визначаємо відстань  $d = \sqrt{\frac{A}{5}} = 1,1 \text{ м}$ . Тобто в результаті ми отримуємо розміри камери які задовольняють вимогам.

7) Розраховуємо звукоізоляцію огорожень камери за формулами вказаними в п. 2.5 для двох торцевих стін, через які шум з території входить в приміщення камери.

Розрахунок звукоізоляції:

Величини середньогеметричної частоти октавних полос:

$$f = 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, \text{ Гц.}$$

$$L_{\text{нар}} = 80, 67, 74, 64, 60, 50, 48 \text{ дБ, відповідно до частоти. (3.9)}$$

$$10 \lg S = 17,8 \text{ при } 4000 \text{ Гц. (3.10)}$$

$$\alpha_{\text{стін}} = 0,01, 0,02, 0,03, \text{ при } 125, 500, 4000 \text{ Гц, відповідно. (3.11)}$$

$$A(S_v = 213 \text{ м}^2) \text{ м}^2 = 2,1, 4,2, 6,3, \text{ при } 125, 1000, 4000 \text{ Гц відповідно. (3.12)}$$

$$B_i = 2,1, 4,3, 6,3 \text{ при } 125, 1000, 4000 \text{ Гц відповідно. (3.13)}$$

$$10 \lg B_i = 3,2, 6,3, 8,1 \text{ при } 125, 1000, 4000 \text{ Гц відповідно. (3.14)}$$

$$L_{\text{доп}} = 64, 46, 47, 46, 51, 46, 41 \text{ дБ відповідно до частоти. (3.15)}$$

$$R_{tr} = 36,6, 41,6, 44,5, 35,5, 24,7, 19,7, 22,7 \text{ відповідно до частоти. (3.16)}$$

$$\frac{S_v}{20} = 10,6 \text{ при } 1000 \text{ Гц. (3.17)}$$

$$\frac{S_v}{6,2} = 34,3 \text{ при } 1000 \text{ Гц. (3.18)}$$

Шум від найменш шумного джерела в ревербераційній камері в середньому на 6 дБ вище, ніж в заглушеній камері, тому  $L_{\text{доп}}$  збільшуємо на 6 дБ у порівнянні з  $L_{\text{доп}}$  заглушеної камери.

8) З таблиці «Коефіцієнтів звукопоглинання будівельних матеріалів» (додаток 1), обираємо матеріал для огорожувальних стін камери, цегляну кладку. По одній цеглині зі штукатуркою з обох боків ( $c = 0,26 \text{ м}$ ), та верхнє покриття камери з залізобетонної плити товщиною 0,2 м ( $c_1 = 0,2 \text{ м}$ ).

9) Знаходимо середні наружні розміри камери:

Довжину, ширину, та висоту камери, відповідно:

$$A = a' + 2c \cong 9 \text{ м,}$$

$$B = b' + 2c \cong 6 \text{ м,}$$

$$H = h' + c_1 \cong 4,5 \text{ м},$$

Приймаємо камеру з наступними максимальними зовнішніми розмірами:

$$ABH = 9 * 6 * 4,5 \text{ м}; (3.19)$$

10) Порівнюємо величину  $A$  з величинами  $\frac{S_v}{20}$  та  $\frac{S_v}{6,2}$  (3.17)(3.18). Величина  $A$  менше  $\frac{S_v}{20} = 10,6 \text{ м}$ , але не з дуже великою різницею, величина  $A$ -фактична, буде більше, так як в камері буде встановлено випробовуване джерело шуму, підвішений тельфер, кронштейн або стійки для установки мікрофона, будуть двері або ворота, які також дають значне звукопоглинання. Крім того, фактично поверхні стін і стелі можуть бути не ідеально гладкі, що також збільшить звукопоглинання в приміщенні. Тому спеціальних додаткових звукопоглотителів вносити в камеру не потрібно.

У нашому прикладі нижня гранична частота вимірів - 90 Гц, в будівлі і поблизу від неї немає інтенсивних джерел вібрації (автомагістраль чи, залізничних колій, метро, віброплощадки та ін.), тому спеціальне віброізолювання камери не потрібно.

### 3.3 Розрахунок безехової камери. Вихідні дані.

Послідовність розрахунку по безеховій (заглушеній) камері по наступним проводилися вихідним даним:

Метод вимірювання:

Точний метод.

Тип камери:

Зі звуковідбивною підлогою. Вимірювання проводяться на полусферичній вимірювальній поверхні.

Максимальні габаритні розміри досліджуваних джерел звуку:

$$l_{max} = 1.55 \text{ м}, V_{дж} = 3.72 \text{ м}^3; (3.20)$$

Частотний діапазон вимірювань в октавн. смугах: 125-8000 Гц.

Точність вимірювання: 1.5 – 2 дБ;

Спектр шуму на місті розташування безехової камери та спектр максимально допустимого шуму завод в камері приведені у табл. 3.1.

Місце вимірювання	Рівень звукового тиску на середньгеометричних частотах октавних смуг, Гц.						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Обране місце для розташування камери	80	67	74	64	60	50	48
	58	40	41	40	45	40	35

Табл. 3.1. «Вихідні рівні шуму»

Заглушена камера буде знаходитися в лабораторному корпусі, тому шум буде потрапляти у камеру з прилеглої території через дві кутові стіни камери.

### 3.4. Послідовність розрахунку безехової камери.

Розрахункова частина:

- 1) Визначаємо радіус вимірювальної полусфери:

$$R_0 = 3l_{max} = 4.65 \text{ м}; (3.21)$$

- 2) Визначаємо розміри вільного простору безехової камери:

Довжина камери:

$$b_0 = 6.6l_{max} + 2.2 = 12 \text{ м};$$

Ширина камери:

$$a_0 = 6l_{max} + 2 = 11 \text{ м};$$

Висота камери:

$$h_0 = 3l_{max} + 1 = 6 \text{ м};$$

- 3) Визначаємо внутрішній об'єм камери:

$$V_0 = b_0 a_0 h_0 = 792 \text{ м}^3;$$



- 4) Звіряємо отриманий внутрішній об'єм камери з вимогою до об'єму безехової камери:

$$200V_{дж} \leq 792 \text{ м}^3; \quad 200 * 3.72 = 744 \text{ м}^3;$$

- 5) Визначаємо загальну площу внутрішньої поверхні камери зі звукопоглинаючою облицюванням:

$$S_0 = a_0b_0 + 2a_0h_0 + 2b_0h_0 = 408 \text{ м}^2;$$

- 6) Дивлячись на нижню граничну частоту вимірювань для смуги 125 Гц,  $f_{т.гран.} = 90$  Гц, та необхідного коефіцієнта поглинання  $\alpha = 0.95$ , обираємо клини типу «КЗК-1,0», які встановлюються з заклиновим проміжком 15 см.

- 7) Визначаємо максимальну різницю спадів рівнів в точках на вимірювальній полусфері, по графікам 6.

$$S_0 = 408 \text{ м}^2; R_0 = 4.7 \text{ м};$$

Величина  $\Delta L = \pm 1.5$  дБ, менше допустимої в розрахунку.

- 8) Обчислюємо внутрішні розміри камери для облицювання звукопоглинаючих клинів, ширину, довжину, та висоту відповідно:

$$A_0' = a_0 + 2l_0 = 13.3 \text{ м};$$

де  $l_0 = 1.15$  м – довжина клина з заклиновим проміжком.

$$B_0' = b_0 + 2l_0 = 14.3 \text{ м};$$

$$H_0' = h_0 + l_0 = 7.15 \text{ м};$$

Площа углових стін камери дорівнює:

$$S = 14.3 * 7.15 + 13.3 * 7.15 = 197 \text{ м}^2;$$

- 9) Розрахунок потрібної звукоізоляції проводяться по формулам з п. 2.5. Розрахунок здійснювався по кожній полосі частот:

Величини середньогеметричної частоти октавних полос:

$$f = 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, \text{ Гц.}$$

$$L_{нар} = 80, 67, 74, 64, 60, 50, 48 \text{ дБ, відповідно до частоти.}$$

$$10\lg S = \infty, 23, 23, 23, 23, 23, 23 \text{ відповідно до частоти.}$$

$$R_{tr} = 45, 50, 56, 47, 38, 33, 36 \text{ дБ, відповідно до частоти.}$$

$R_{\text{ст}} = 47, 55, 60, 67, 70, 70, 70$ , дБ, відповідно до частоти.

$R_{\text{пер}} = 48, 55, 61, 68, 70, 70, 70$  дБ відповідно до частоти.

10) По величині  $R_{\text{тр}}$ , обираємо для огороження камери цегляні стіни, відштукатурені з обох боків в 2.5 цеглини ( $c = 64$  см) та железобетонні плити перекриття товщиною 40 см ( $c_1 = 40$  см).

11) Визначаємо зовнішні розміри камери довжину, ширину, висоту відповідно до формул:

$$B_0 = B_0' + 2c = 15.6 \text{ м};$$

$$A_0 = A_0' + 2c = 14.6 \text{ м};$$

$$H_0 = H_0' + c_1 = 7.7 \text{ м};$$

12) По формулі для знаходження  $\Delta L$ , знаходимо величину відхилення звукового поля, при  $R_0 = 4.7$  м,  $\Delta L$  – не перевищує  $\pm 1$  дБ.

13) Розраховуємо амортизатори під коробку зеглушеної камери. Стіни камери розташовують на залізобетонну плиту товщиною 0.5 м, яку укладають на амортизатори. Загальна маса коробки  $= 85 * 10^5$  Н.

Потрібно забезпечити звукоізоляцію на нижній граничній частоті  $f_{\text{гр.н.}} = 90$  Гц, тому частоти власних коливань повинна бути не більше 15-18 Гц.

Частоту власних коливань розраховуємо за формулою:

$$f_0 = \frac{0.5}{\sqrt{X_{\text{ct}}}};$$

$$X_{\text{ct}} = 10^{-2} \left( \frac{5}{f_0} \right)^2 = 10^{-2} \left( \frac{5}{18} \right)^2 = 8 * 10^{-4} \text{ м}.$$

Коефіцієнт амортизації розрахуємо за наступною формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{90^2}{18^2} - 1} = 0.042 = 4.2\%;$$

Обираємо гумові прокладки, які мають твердість  $38 * 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^{-2}}$ .

$$E_{\text{ct}} = 13.9 * 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, E_{\text{д}} = 35 * 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \sigma = 2.6 * 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Загальна жорсткість усіх амортизаторів визначаємо за формулою:

$$K_z = \frac{P}{X_{\text{ct}}} = 85 * \frac{10^5}{8 * 10^{-4}} = 106 * 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Загальна площа поперечного перерізу усіх віброізоляторів:

$$S = \frac{P}{\sigma} 85 * \frac{10^5}{2.6} * 10^5 = 32,6;$$

Розмір кожного віброізолятора, або інакше кажучи – прокладки, дорівнює  $s = 0.2 * 0.2$  м.

Загальне число віброізоляторів шукаємо по наступній формулі:

$$n = \frac{S}{s} = \frac{32.6}{0,04} = 815 \text{ шт.}$$

Задамо в один ряд 55 прокладок, проміжок між прокладками дорівнює 5 см, сума усіх рядів дорівнює 15.

Знаходимо робочу висоту віброізолятора:

$$H_p = \frac{E_d S}{K_z} = 35 * 10^5 * \frac{32.6}{106} * 10^8 = 0.01 \text{ м,}$$

З цього випливає, що повна висота віброізолятора по формулі:

$$H = H_p + 0,015 = 0,01 + 0,015 = 0,025 \text{ м.}$$

Для віброізолювання камери, встановлюється 815 шт. Прокладок розміром  $0.2 * 0.2 * 0.025$  м.

При такій великій вазі камери випробуване джерело можна жорстко прікріпляти до підлоги камери, без додаткової віброізоляції фундаменту.

## **Висновки до розділу.**

В 3-му розділі було зроблено розрахунки ревербераційної та заглушеної зі звуковідбивною підлого камери, а саме:

Для ревербераційної камери були розраховані наступні параметри:

- Мінімальні розміри в середині камери.
- Зовнішні розміри камери.
- Визначено оптимальні матеріали для конструювання камери.
- Площу огорожувальних поверхонь.
- Потрібну звукоізоляцію.

Для заглушеної камери було рохраховано наступні дані:

- Допустимі розміри камери
- Розрахунок потрібної звукоізоляції для кожної середньгеометричної частоти.
- Було обрано найкращі матеріали для конструювання заглушеної камери, звукопоглинаючих клинів.
- Розраховали найкращі параметри для звукопоглинаючих властивостей безехової камери.

## **ВИСНОВКИ**

В результаті виконання цієї роботи було:

- Представлено огляд великого об'єму теоретичних даних, які були дуже важливими для постанови самої проблеми та задачі теми;
- Було проведено дослідження особливостей конструкції повітряних камер для проведення акустичних вимірювань. Особливості при конструюванні цих камер. Також було знайдено реальні акустичні камери, які застосовуються на сьогодні науковцями.
- Було виявлено основні сфери використання повітряних камер для дослідження властивостей звуку.

- Знайдено основні характеристики для початку розрахунків та конструювання повітряних камер.
- Проведено аналіз, та обрано найкращі матеріали, умови, а також розташування ревербераційних камер, що б відбиття звуку було не без зайвих завад та шумів в камері.
- Проведено аналіз, та обрано найкращі матеріали, умови, а також розташування заглушених камер, де спостерігалось максимальне поглинання звуку та шумів.
- Виконано розрахунки застосовуючи ті дані, які були досліджено протягом всієї дипломної роботи.

В результаті проведених розрахунків, отримано самі оптимальні параметри, які потрібні для конструювання ревербераційної, або безехової камери.

Додаток 1: «Основні параметри ревербераційних камер»

Параметр	Тип ревербераційної камери, характеристика				
	0	1	2	3	4
Максимальні розміри випробувальних джерел	1.4	1.25	1.15	1	0.85
Об'єм джерела. ( $V_{дж}$ , м <sup>3</sup> )	2,75	1,95	1,5	1	0,6
Внутрішні розміри камери	9.4*7.1*4.5	8.5*5.5*4.3	7.2*5.5*3.8	6.2*5.4*3	6.35*3.7*3

(a, b, h)					
Об'єм камери, $V, \text{м}^3$	300	200	150	100	70
Площа огорожувальних поверхонь, $S_v, \text{м}^2$	282	213	176	137	107
Середні внутрішні розміри камери (a, b, h)	9.4*7.1*4.5	8.5*5.5*4.3	7.2*5.5*3.8	6.2*5.4*3	6.35*3.7*3
Еквівалентна площа звукопоглинання, $\alpha = 0,06; A, \text{м}^2$	16.9	12.8	10.5	8.2	6.4
Товщина стін, стелі, с, с <sub>1</sub> , м	0.51, 0.4	0.51, 0.4	0.51, 0.4	0.38, 0.3	0.38, 0.3
Зовнішні максимальні розміри.	11*8.6*5.4	10*7*5.2	8.7*7*4.6	7.7*6.8*3.7	7.7*5*3.6
Сітка колон, висота поверхів.	12*6 6	-	12*6 4.8	9*6 4.2	6*6
Сер. Звукоізол. Здатність від повітряного шуму. $R_b$ , дБ	58	58	58	55	55
Розмір дверей, м	2.6*2	2.6*2	2.2*1.6	2*1.2	2*1
Розміри віброізол. фундаменту, м	3.5*2.5*1.8	3*2*1.5	2*1.8*1.5	1.8*1.5*1.25	1.5*1*1

### **Використана література:**

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: Наука, 1974.- С.942.
2. Горелик Г.С. Колебания.- М.: Государственное издательство технико-теоретическое издательство, 1950.- С.551.
3. Беранек Л., Акустические измерения, пер. с англ., М., 1952; Блинова Л. П., Колесников А. Е., Ланганс Л. Б., Акустические измерения, М., 1971.
4. Ревербератор – статья из «Большой советской энциклопедии»;
5. Заборов В.И. Звукоизоляция в жилых и общественных зданиях / В.И. Заборов, Э.М. Лалаев, В.Н. Никольский М.:Стройиздат, 1979. -254с.

6. «ННГАСУ» издание газеты «Строитель» и приложения «Студенческий вестник»;
7. Бобылев, В.Н. О звукоизоляции однослойных ограждений в области частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля.
8. Рекомендации «по расчету и проектированию акустических камер» НИИСФ Госстроя СССР. Москва 1987. Л.Г. Бальян.
9. [https://pikabu.ru/story/bezyekhovaya\\_kamera\\_5831266](https://pikabu.ru/story/bezyekhovaya_kamera_5831266)
10. <https://knowhow.pp.ua/worlds-quietest-room/>
11. [http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/gost-r-51317\\_4\\_3-99.pdf](http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/gost-r-51317_4_3-99.pdf)
12. <http://docs.cntd.ru/document/5200328>
13. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D1%8D%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D1%8D%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0)
14. [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_9719.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_9719.htm)
15. <http://docs.cntd.ru/document/gost-31704-2011>
16. УДК 534.2 ББК 38.113 К 44 Киселева Е.Г. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе для вечернего факультета / Е.Г. Киселева. — М.: МАРХИ, 2011. — 52 с.
17. <https://ecospace.ru/service/akusticheskie-raschety/#:~:text=%D0%90%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%D1%8B%20%E2%80%94%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8F%20%D1%88%D1%83%D0%BC%D0%B0.&text=%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8>



[%D1%8F%20%D1%88%D1%83%D0%BC%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC%20%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D0%B0,%D0%BD%D0%BE%20%D0%B8%20%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B5%20%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D1%88%D1%83%D0%BC.](#)

18.

[http://ftek.mpei.ac.ru/bgd/\\_private/shum/Deistv\\_shuma\\_3/3\\_D\\_akust\\_rasch.htm](http://ftek.mpei.ac.ru/bgd/_private/shum/Deistv_shuma_3/3_D_akust_rasch.htm)

19. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966

20. Гаврилов Л.Р. Фокусированный ультразвук высокой интенсивности в медицине. М.: ФАЗИС, 2013

21. Ржевкин С.Н. Задачи по теории звука. М.: МГУ, 1976

22. Поль Р.В. Механика, акустика и учение о теплоте. М.: ГИТТЛ, 1957

23. Мэзон У. (ред.) Физическая акустика. Том 1. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Часть А. М.: Мир, 1966

24. Сапожков М.А. Электроакустика. М.: Связь, 1978

25. Фурдуев В.В. Электроакустика. М.-Л.: ГИГТЛ, 1948

26. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. Л.: ЛГУ, 1980

27. Мэзон У. (ред.) Физическая акустика. Том 1. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Часть А. М.: Мир, 1966

28. Лэмб Г. Динамическая теория звука. М.: ГИФМЛ, 1960.

29. Голямина И.П. (ред.). Ультразвук. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979.

30. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/acoustics.htm>

31. [http://www.sound-consulting.net/ru/?page\\_id=340\](http://www.sound-consulting.net/ru/?page_id=340)
32. <https://www.litres.ru/tags/akustika/>
33. <http://ate-m.by/wiki/term/reverberatsionnaya-kamera/>
34. <https://www.2test.ru/solutions/proizvodstvo-radioelektroniki/bezekhovye-kamery-ispytatelnoe-oborudovanie/bezekhovye-kamery/polnostyu-bezekhovaya-kamera.html>
35. <https://www.widex.ru/ru-ru/blog/chamber-of-silence>
36. <https://esquire.ru/articles/2760-what-it-feels-like-83-2/>
37. [http://ukrndnc.org.ua/index.php?option=com\\_terminus&Itemid=191&task=view&id=47935](http://ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_terminus&Itemid=191&task=view&id=47935)
38. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Sitimn\\_2014\\_38\\_42.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Sitimn_2014_38_42.pdf)
39. [https://dnaop.com/html/2282/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_ISO\\_3741\\_2004](https://dnaop.com/html/2282/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_ISO_3741_2004)
40. <https://studfile.net/preview/5110495/page:2/>
41. <http://document.ua/%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0%20%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0-key.html>
43. [http://virt.ldubgd.edu.ua/pluginfile.php/92419/mod\\_resource/content/2/L\\_02\\_%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE.pdf](http://virt.ldubgd.edu.ua/pluginfile.php/92419/mod_resource/content/2/L_02_%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE.pdf)